



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

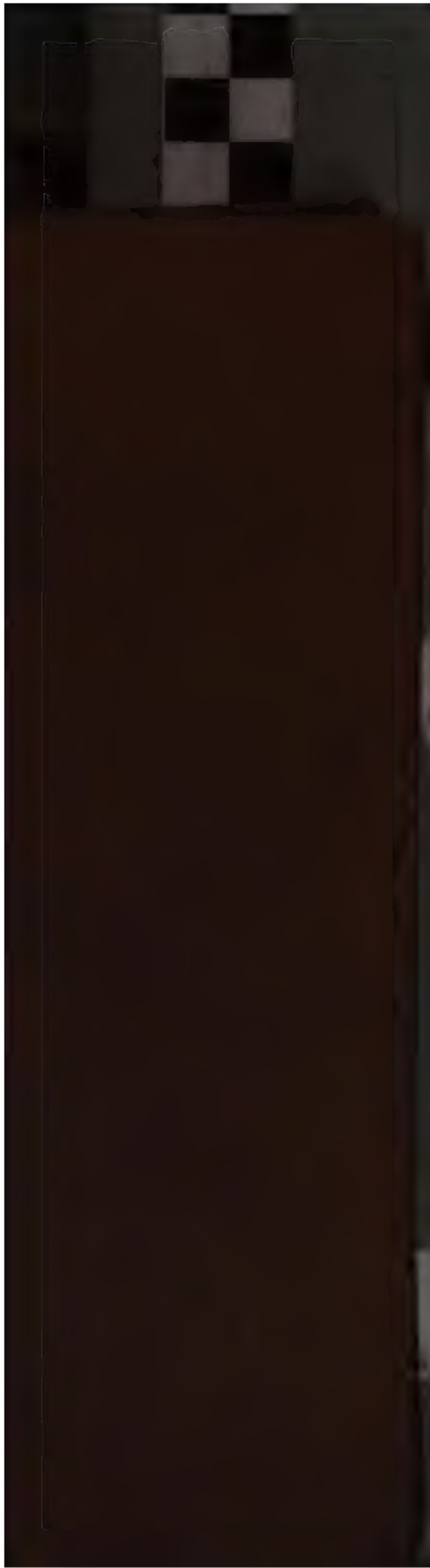
Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

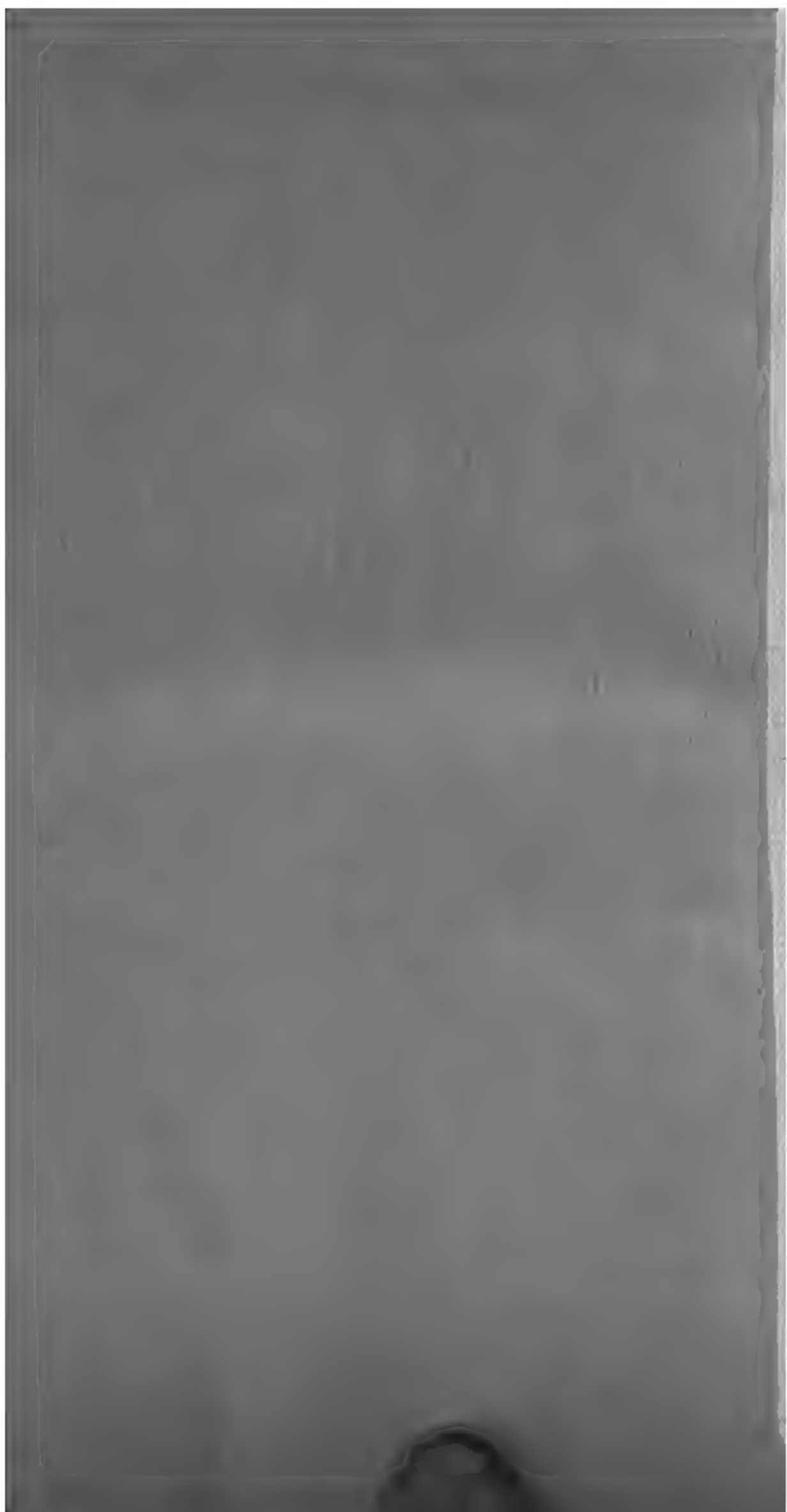
- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

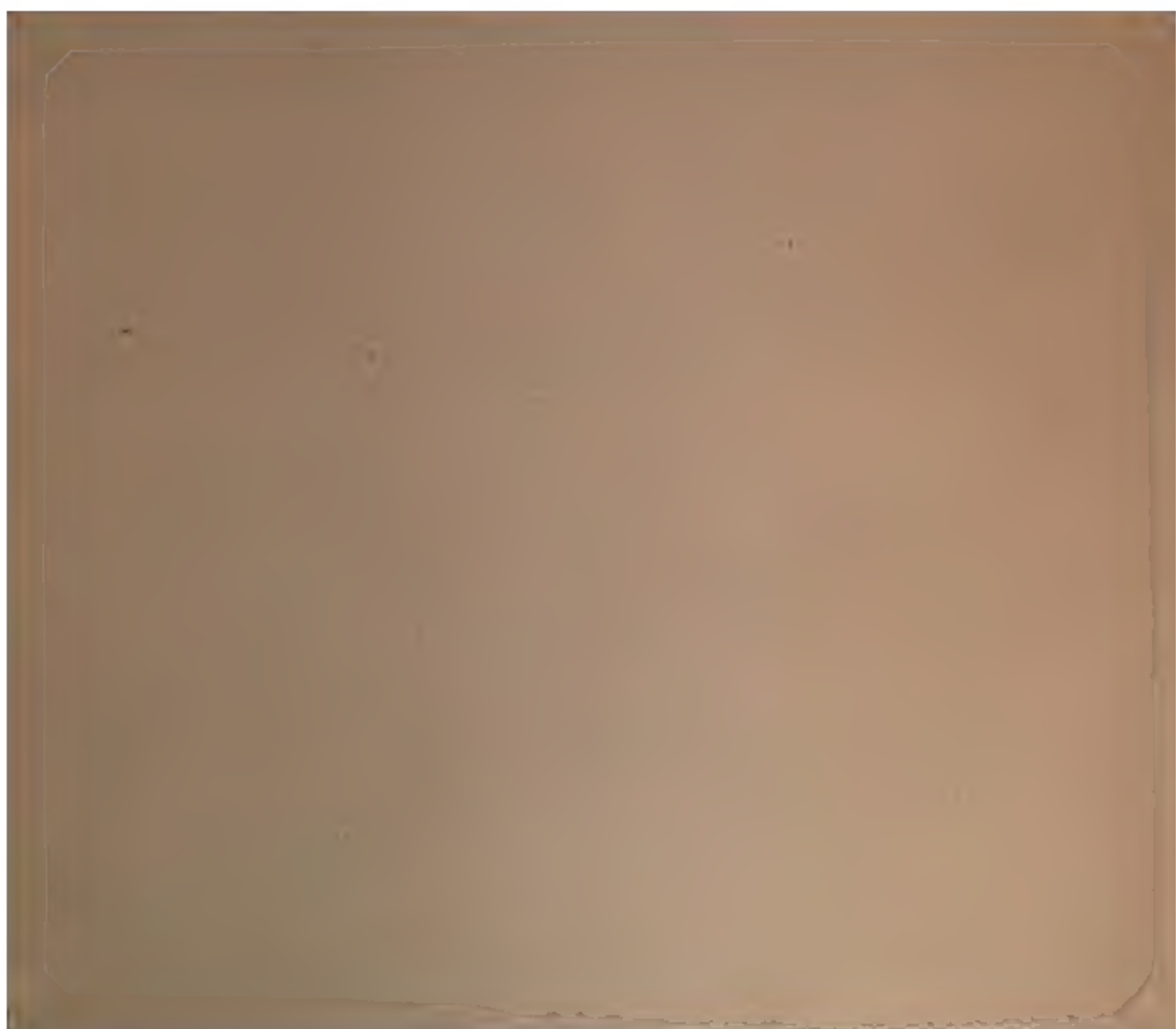
Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.













Handbuch
der
Wasserbaukunst

von
G. Hagen.

Dritter Theil:
Das Meer.

Erster Band mit 9 Kupfertafeln.

Berlin 1863.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

1911

1911

1911

1911

— 1111111111 —

1111111111 — 1111111111

G. H. a. g. t.

Die Herausgabe von Uebertragungen in fremde Sprachen behält sich
die Verlagshandlung vor.

Verlagshandlung

Verlagshandlung

Verlagshandlung

Verlagshandlung

Verlagshandlung

Verlagshandlung

Verlagshandlung

Vorwort.

Als ich im zweiten Theile des Handbuches der Wasserbaukunst das Erscheinen dieses dritten Theiles in nahe Aussicht stellte, und zugleich einen sehr mäßigen Umfang desselben bezeichnete, war es meine Absicht, mich auf die Beschreibung der an der Preussischen Ostsee-Küste üblichen Anlagen zu beschränken, wie ich solche als Hafen-Bauinspector größtentheils selbst ausgeführt hatte.

Bei Bearbeitung des zu diesem Zwecke gesammelten Materials trat jedoch zunächst das Bedenken auf, daß der stets wachsende Verkehr in unsern Seehäfen vielfache und begründete Anforderungen hervorgerufen hat, die sich daselbst früher nicht geltend machten. Wiederholte Reisen nach England, Frankreich und den Niederlanden ließen mich zugleich bemerken, daß zwischen den Häfen an der Ostsee und denen an größeren Meeren nicht so wesentliche Unterschiede bestehn, daß die bei den letztern gemachten Erfahrungen für uns ganz bedeutungslos bleiben dürften. Hierzu kam noch, daß ich in neuerer Zeit sowol dienstlich, als auch in Folge anderweiter Aufforderungen mit Hafen-Anlagen an der Ostsee und Nordsee beschäftigt, und dadurch veranlaßt wurde, in die verschiedenen Einzelheiten des Gegenstandes wiederholentlich einzugehn.

In gleichem Maasse, wie das Material sich vermehrte und an Bedeutung gewann, überzeugte ich mich auch, daß dasselbe in den hydrotechnischen Schriften bisher nur sehr unvollstän-

dig behandelt ist, woher es sich erklärt, daß man in keinem andern Theile der Wasserbaukunst so abweichenden und unklaren Auffassungen begegnet, als im Hafenbau. Das Werk von Minard ist das einzige, worin der Gegenstand systematisch und umfassend vorgetragen wird, aber auch dieses läßt viele Lücken, und selbst die wichtigsten Punkte sind darin nicht so vollständig entwickelt, daß der Zusammenhang der Erscheinungen klar wird.

Bei der Beweglichkeit der großen Wassermasse des Meeres veranlassen die verschiedenen darauf einwirkenden Kräfte, die zum Theil so geringe sind, daß sie jeder sonstigen Wahrnehmung sich entziehen, die überraschendsten Wirkungen. Letzteren zu begegnen, oder sie zu benutzen, ist die Aufgabe, die bei See- und Hafenbauten sich immer wiederholt, die aber nicht mit Sicherheit zu lösen ist, so lange die dabei eintretenden Bewegungen unbekannt sind. Eine ausführliche Behandlung derselben, so wie auch ihrer Wirkungen, war daher dringend geboten. Durch Beobachtungen im Großen, wie durch Versuche im Kleinen, habe ich mich bemüht, in allgemeinen Umrissen den Zusammenhang der Wellenbewegung und der durch sie veranlaßten Erscheinungen mit den bekannten Naturgesetzen nachzuweisen.

Durch Vorstehendes hoffe ich sowol die Verzögerung der Herausgabe dieses dritten Theiles entschuldigt, als auch den größern Umfang desselben gerechtfertigt zu haben. Er wird vier Bände von der Stärke des vorliegenden umfassen, und diese sollen in der kürzesten Frist einander folgen.

Gewiß wird mancher Baumeister beim Durchblättern dieses Bandes es nicht billigen, daß ich heutiges Tages noch auf theoretische Entwicklungen zurückgehe, und sogar den bekannten alten Theorieen noch neue hinzuzufügen versuche. Ich kann zwar die Zusage machen, daß dieser Vorwurf die folgenden Bände viel weniger treffen wird, als diesen ersten, das Bedenken ist jedoch so wichtig, daß es eine eingehende Erörterung fordert.

Der **Gegensatz** zwischen Theorie und Praxis tritt gegenwärtig in der Wasserbaukunst zum großen Nachtheil der Wissenschaft und Technik viel schärfer hervor, als jemals war, und das Mißtrauen, womit man heutiges Tages jede theoretische Untersuchung auf diesem Gebiete aufnimmt, ist allerdings in Betreff der üblichen Theorien nicht ungegründet, es wird aber gewöhnlich mehr durch persönliche, als durch sachliche Rücksichten erweckt und genährt. Wenn der Oekonom, der Arzt oder der Fabrikant wichtige und einflußreiche Erscheinungen durch Versuche und Nachdenken aufzuklären sich bemüht, so findet ein solches Streben allgemeine Anerkennung. Im Wasserbau ist es anders! Als ich mit der Theorie der Wellen mich beschäftigte, deren mächtige und räthselhafte Wirkungen den Hafenbaumeister fortwährend in Anspruch nehmen, bin ich sehr ernsthaft gefragt worden, ob ich wirklich glaube, daß solche Speculation zu einem practischen Resultate führen könne.

Seit dem ersten Auftreten der Theorie im Wasserbau ist dieselbe gewiß immer von Einzelnen zurückgewiesen und verdächtigt worden. Diese Mißsachtung ist eine chronische Krankheit, die niemals vollständig aufhören wird, die aber unter gewissen äußern Einflüssen leicht einen epidemischen Charakter annimmt. Dieses ist gegenwärtig der Fall, und man muß daher durch unbefangene Darlegung des Sachverhältnisses ihr entgegen treten.

Es ist an sich klar, daß der angehende Wasserbaumeister die Befähigung zu seinen verschiedenen dienstlichen Verrichtungen durch theoretische Studien allein nicht erwerben kann. Selbst Vorträge und technische Schriften genügen hierzu nicht, er muß vielmehr durch eigne Anschauung und Uebung sich für seinen Dienst ausbilden. Schon zur Beurtheilung des Materials und der Arbeit ist dieses nothwendig, eben so auch zur richtigen Anstellung der Arbeiter, damit jeder derselben anhaltend und zwar seiner Geschicklichkeit und physischen Kraft entsprechend beschäftigt und weder durch Andere, noch

durch Mangel an Material oder durch unpassende Aufstellung desselben behindert wird. Er muß ferner gewohnt sein, die Leute angemessen zu behandeln, die Aufsicht zweckmäßig einzurichten und Alles selbst zu controliren. Er muß Uebung in der Rechnungs- und Geschäftsführung, so wie auch im Zeichnen u. d. g. besitzen. Dieses Alles mit Einschluss der Fertigkeit im Projectiren und Veranschlagen gewöhnlicher Wasserbauwerke läßt sich ohne theoretische Vorbildung erlernen, und wer hierin Uebung und Geschicklichkeit besitzt, ist im eigentlichen Sinne des Wortes ein practischer Wasserbaumeister.

Ein solcher ist für den gewöhnlichen Dienst sehr brauchbar, aber die Ausbildung in diesem Sinne wird durch wissenschaftliche oder theoretische Studien keineswegs behindert, vielmehr in vielfacher Beziehung wesentlich erleichtert. Die Möglichkeit einer Verbindung der Theorie mit der Praxis stellt indessen der moderne Practiker entschieden in Abrede. Er theilt die Baumeister in practische und theoretische ein, und je mehr er sich vor dem Verdachte sicher weiß, zu den Letzteren zu gehören, eine um so höhere Stelle nimmt er unter den Ersteren in Anspruch. Er thut dieses auch in dem Falle, wenn er jene practischen Geschicklichkeiten gar nicht, oder nur in sehr geringem Maaße besitzt.

Mir sind Bauausführungen bekannt geworden, durch welche eine ununterbrochene Kette von Versäumnissen, Mifgriffen und Verlegenheiten sich hindurchzog. Indem die localen Preise und sonstigen Verhältnisse nicht untersucht waren, so machten Lieferanten und Bauunternehmer glänzende Geschäfte. Wenn Material auf der Baustelle war, so fehlte es an Arbeitern, und wenn diese sich endlich zahlreich eingefunden hatten, so mußten sie wieder entlassen werden, weil das Material inzwischen verbraucht war. Einzelne bereits ausgeführte Theile erwiesen sich sogleich als verfehlt, und wurden deshalb hescitigt, während andere schon vor Beendigung des Baues einstürzten. Dieses war aber ein günstiges

Ereigniß, weil es Gelegenheit gab, die ganze Anlage überhaupt nutzbar zu machen. Indem später noch verschiedene Aenderungen und Verbesserungen hinzukamen, so entstanden in solcher Weise schliesslich Bauwerke, die, wenn auch mit wesentlichen Mängeln behaftet, dennoch für den Verkehr von grossem und zuweilen von unschätzbarem Werthe geworden sind. Unerachtet aller Unfälle und der dadurch veranlafsten Mehrkosten und Verzögerungen, worüber vielfach laute Klage geführt ist, blieben die Baumeister dennoch sowol nach ihrem eignen, als nach dem allgemeinen Urtheile, sehr practische Männer.

Fragt man, wodurch sie in solchen Fällen ihre practische Befähigung bewiesen, so muß zunächst hervorgehoben werden, daß sie jedesmal von dem Verdachte frei geblieben sind, Theoretiker zu sein. Ihr vermeintlicher practischer Sinn hatte sie der Mühe überhoben, bei Aufstellung der Entwürfe die Verhältnisse näher zu prüfen und den ganzen Fortgang des Baues vorher in Erwägung zu ziehn, durch Unbefangenheit und schnellen Entschluß in jeder Verlegenheit sicherten sie sich aber das früher in sie gesetzte Vertrauen. „Wenn Ihr Euch nur selbst vertraut, so traun Euch auch die andern Seelen“ sagt Göthe sehr treffend. Der practische Sinn verbietet jedoch, in dieser Beziehung gewisse Grenzen zu überschreiten. Gleichgestellten und Untergebenen gegenüber folgt der Practiker seiner eigenen Auffassung und duldet keinen Widerspruch, dagegen theilt er stets die Ansichten, die in höheren Kreisen sich bereits gebildet haben.

Unbedingt muß er jede fremde und eingehende Beurtheilung von sich fern halten, und dieses gelingt ihm, wenn er dem Gegensatze zwischen Theorie und Praxis in voller Schroffheit Geltung verschafft: wer sich mit Theorie beschäftigt hat, ist für die Praxis unbrauchbar!

Unglücklicher Weise sind die Theoretiker sehr selten, namentlich im Wasserbau. Um daher ein abschreckendes Bild von ihnen zu entwerfen, muß der Practiker seine Phan-

tasie zu Hülfe nehmen, und hierdurch erklärt es sich, daß abgesehn von recht langen analytischen Formeln, die immer als Embleme der Theorie gedacht werden, der fingirte Theoretiker eine unverkennbare Aehnlichkeit mit solchem Practiker selbst hat. Dieser wie jener folgt seinen Ideen, ohne auf Erfahrungen Rücksicht zu nehmen. Schon vor hundert Jahren nannte Antonio Lecchi *) diese practische Auffassung der mathematischen Studien: „ein altes abgeschmacktes Lied, das immer von Neuem abgesungen wird, so oft Unwissenheit, Eigennutz, Selbstsucht und Parteiung zusammentreffen.“

In gewöhnlichen Fällen ist, wie bereits erwähnt, die Theorie meist entbehrlich. Selbst bei neuen Anlagen pflegt es nicht an gewissen, bereits vorhandenen Bauwerken zu fehlen, aus deren Verhalten man mit einiger Sicherheit auf die zu wählende Anordnung und auf die passenden Dimensionen des beabsichtigten Baues schliessen kann. Häufig genügen indessen solche Analogieen nicht, und man muß auf sonstige Erfahrungen und auf allgemeine Grundsätze zurückgehn. Um diese gehörig zu berücksichtigen und darnach die richtige Wahl zu treffen, ist ein einfaches Râsonnement gemeinlich wieder nicht ausreichend, und es bleibt alsdann nur übrig, die kräftige Hülfe der Theorie in Anspruch zu nehmen. Je zahlreicher und genauer die ihr zum Grunde gelegten Beobachtungen und Erfahrungen sind, und je verständiger dieselben benutzt werden, um so sicherer ist auch das daraus hergeleitete Resultat, oder um so zweckmäßiger wird das darauf beruhende Bauproject sein.

Der Practiker, der auch in solchem Falle mit gewohnter Leichtigkeit sich bewegt, vermeidet diesen Umweg und schnell entschlossen verfolgt er irgend eine Idee, die sich ihm darbietet, die er aber sogleich als die allein zulässige anerkennt und eifrig vertheidigt. Mancher Strom ist eine Reihe von

*) In der Vorrede zum *Piano della separazione de' tre torrenti etc. Raccolta d'autori che trattano del moto dell' acque. Tomo VIII. Firenze 1770. Pag. 287.*

Generationen hindurch immer practisch, aber beim jedesmaligen Wechsel des leitenden Baumeisters auch immer anders behandelt, und ohnerachtet aller darauf verwendeten Kosten doch nicht so weit verbessert worden, daß die Arbeiten des Vorgängers jemals als erfolgreich angesehen wären.

Wenn man dagegen die Bauprojecte auf sorgfältige Erwägung der bisherigen Erfahrungen gründet, so werden freilich beim Hinzutreten neuer Thatsachen die Ansichten sich nach und nach berichtigen, unmöglich können sie aber so wesentlich von einander abweichen, wie die practischen Auffassungen. Außerdem läßt auch die unbefangene und methodische Untersuchung, die von genauen Beobachtungen ausgeht, das erreichbare Ziel richtiger erkennen und führt sicherer zu demselben, als wenn man nur von flüchtigen Auffassungen sich leiten läßt. Solche methodische Untersuchung ist aber nichts Anderes, als die Theorie in der wahren Bedeutung des Wortes.

Diese Theorie ist ganz verschieden von derjenigen, die im Wasserbau gilt. Ein beklagenswerthes Mißgeschick waltet über der letzteren. Reinhard Woltman erwarb sich am Schlusse des vorigen Jahrhunderts die wesentlichsten Verdienste um sie, indem er theils aus Dubuat's Beobachtungen brauchbare Resultate ableitete, theils auch verschiedene Untersuchungen selbst ausführte und mit eignen Erfahrungen und Messungen verglich. Seine Arbeiten zeichnen sich besonders durch den wissenschaftlichen Sinn aus, der darin überall hervortritt. Mit der größten Gewissenhaftigkeit prüfte er jedes Resultat, zu dem er gelangte, und verschwieg niemals einen Zweifel, der ihm noch blieb. Alles was er gab, stellte er nur als erste Annäherung an die Wahrheit dar, und eröffnete hierdurch ein weites Feld der spätern Forschung.

Diese Aussicht auf eine gedeihliche Förderung der Wissenschaft wurde indessen unmittelbar darauf wieder vernichtet. Die von Woltman aufgestellten noch sehr unsichern Gesetze wurden mit manchen, nicht glücklichen, Abänderungen zu

absoluten Wahrheiten gestempelt, und dadurch jedem weitern Fortschritt Schranken gesetzt.

Gewiß war es ein sehr anerkennungswerthes Unternehmen, nach dem damaligen Stande der Wissenschaft diejenigen Aufgaben zu behandeln und zusammenzustellen, die der Wasserbaumeister in seinem Dienste am häufigsten zu lösen hat. Auch war es sehr zweckmässig, diese Auflösungen in bestimmten Regeln auszudrücken und durch Zahlenbeispiele zu erläutern, so daß auch derjenige, dem die theoretische Vorbildung ganz abgeht, sich leicht darin finden und darnach rechnen kann. Der früheren Willkür und den damit verbundenen großen Mißgriffen wurde hierdurch vorgebeugt, aber diese Gesetze und Regeln waren noch sehr unsicher, und durften daher nicht als absolut richtig dargestellt werden. Noch nachtheiliger war es, daß denselben Beweisführungen beigefügt wurden, deren Unhaltbarkeit leicht zu erkennen ist, die der angehende Baumeister jedoch gläubig erlernt. Hierdurch konnte nur, wie auch wirklich geschehn, entweder der Sinn für scharfe und richtige Auffassung der Erscheinungen abgestumpft, oder schon beim ersten Studium ein sehr begründetes Mißtrauen gegen die Theorie überhaupt erweckt werden.

In dem ausgedehnten und ohne Zweifel schwierigen Gebiete der Hydraulik sind seit jener Zeit zwar sehr beachtenswerthe Schritte gethan, indem sowol einzelne Erscheinungen sorgfältig beobachtet, als auch in angemessener Weise daraus Resultate gezogen sind. Solche Bestrebungen konnten indessen im Wasserbau keine Anerkennung finden, weil sie sich an jenes Lehrbuch nicht anschlossen.

Vorzugsweise sind die Erfolge derjenigen baulichen Anlagen noch sehr unsicher, welche die dabei beabsichtigten Zwecke nicht unmittelbar herbeiführen, die vielmehr das Wasser zu gewissen Wirkungen veranlassen sollen. Hierher gehören beispielsweise die Buhnen. Die Erfahrung hat zwar auch bei ihnen zu manchen Regeln geführt, aber zur klaren Ein-

sicht in ihre Wirkungen und dadurch zur Entscheidung über ihre zweckmässigste Anordnung ist man noch keineswegs gelangt. Selbst die Frage, unter welchen Verhältnissen das Wasser den Boden angreift, ist bisher nicht genügend beantwortet. Eben so wenig kennt man die Bewegungen, welche diese Werke bei den verschiedenen Wasserständen veranlassen. Ähnlichen Zweifeln begegnet man in allen Einzelheiten, und der Zusammenhang der ganzen complicirten Erscheinung in der Ausbildung eines Strombettes oder eines Ufers ist noch vollständig dunkel. Der größte Uebelstand besteht aber darin, daß dieser Mangel gar nicht erkannt wird, vielmehr die Ansicht verbreitet ist, daß jene Theorieen schon so vollständig über Alles Aufschluß geben, wie dieses von Theorieen nur erwartet werden kann.

Solange diese Auffassung gilt, eröffnet sich keine Aussicht auf gedeihliche Förderung der Wissenschaft und Technik. Es ist daher nothwendig, die bestehenden Mängel unumwunden aufzudecken, und zugleich die Wege zu bezeichnen, die in andern empirischen Wissenschaften zu Erfolgen geführt haben. Den angehenden Wasserbaumeistern fehlt es weder an der nöthigen allgemeinen Vorbildung, noch an lebhaftem Interesse für ihr Fach, und wenn der spätere Dienst sie auch oft vollständig in Anspruch nimmt, so werden sie doch, sobald sie die Mängel und die Mittel zu deren Verbesserung kennen, jede Gelegenheit wahrnehmen, um wichtige Erscheinungen wenigstens sicher festzustellen. Vielfach werden sie alsdann aber auch sich bemühen, den Zusammenhang derselben mit andern Erfahrungen und mit den allgemeinen Naturgesetzen aufzuklären. Es kommt sonach zunächst darauf an, daß sie vor dem blinden Glauben an Autoritäten gewarnt, und daran gewöhnt werden, selbst zu sehn und zu beobachten, und selbst zu urtheilen. Die mathematischen Studien haben keinen andern Zweck, als dieses Urtheil unter complicirten Verhältnissen, die der bloße Verstand nicht umfassen kann, sicher zu leiten. Für solchen Ge-

brauch dürfen die Lehrsätze aber nicht nur mit ihren Be-
weisen erlernt, sondern ihre Anwendung muß auch durch
Uebung geläufig geworden sein. Sie sind nichts Andres, als
Werkzeuge, die nur brauchbar sind, wenn man sie richtig
anzufassen und sicher zu führen versteht.

Der Baumeister muß ferner darauf hingewiesen werden,
daß die volle Schärfe, welche die abstracte Mathematik cha-
rakterisirt, in den Erfahrungs-Wissenschaften aufhört, und
daß nicht nur die constanten Factoren, sondern auch die Ge-
setze, die man aus den Erscheinungen ableitet, mehr oder
weniger unsicher sind. Er muß daher sich stets Rechen-
schaft geben, welchen Grad der Wahrscheinlichkeit das Re-
sultat jeder Untersuchung hat. Bei dieser Auffassung des
Sachverhältnisses stellt sich die beliebte Redensart, daß ge-
wisse Ansichten theoretisch richtig, practisch aber falsch sind,
als ganz sinnlos heraus. Jede neue Erfahrung schließt sich
entweder den bereits gefundenen Gesetzen an und bestätigt
sie, oder sie widerspricht ihnen und zeigt dadurch, daß jene
Gesetze noch der Berichtigung bedürfen.

Die vorstehend angedeutete Ausdehnung der theoretischen
Studien wird ohne Zweifel manchen Widerspruch finden, na-
mentlich in sofern man hin und wieder noch an der Ansicht
festhält, daß die verschiedensten Arten der Technik, die das
Wort Baukunst umfaßt, nicht getrennt werden dürfen, daß
also vom Wasserbaumeister dieselben Kenntnisse und Ge-
schicklichkeiten gefordert werden müssen, wie vom Hochbau-
meister. Wenn in diesem Falle sogar noch vorzugsweise auf
die künstlerische Richtung Gewicht gelegt wird, so werden
natürlich die Anforderungen in Betreff der mathematischen
Ausbildung auf das Minimum beschränkt bleiben müssen.
Außerdem wird man den obigen Vorschlägen auch die Er-
fahrung entgegenstellen, daß die sehr große Mehrzahl der
Wasserbaumeister selbst von denjenigen theoretischen Kennt-
nissen, die sie sich während der Studienzeit angeeignet hatten,
niemals Gebrauch macht, und daß die Wenigen, die hierzu

Neigung und Gelegenheit haben, durch eigne Uebung die Anwendung erlernen. Abgesehn von der Geringfügigkeit der auf diese Weise wirklich erreichten Erfolge, darf man wohl fordern, daß bei der Ausbildung für den spätern Beruf der Unterricht auf die Benutzung des Erlernten gerichtet, und Jeder in den Stand gesetzt werden muß, seine Kenntnisse unmittelbar und ohne vorhergehende besondere Uebung zu verwerthen, wie dieses beim Hochbau auch wirklich zu geschehn pflegt. Genügt daher die Studienzeit nicht für die theoretischen Lehrgegenstände in der gewöhnlichen Ausdehnung und zugleich für die nöthige Uebung derselben, so schliesse man sie früher ab, aber Sorge dafür, daß das Erlernte vorkommenden Falls wirklich gebraucht werden kann. Ein Nachtheil ist hierbei nicht zu besorgen, weil für die große Mehrzahl der weitere Vortrag doch überflüssig ist, und die Wenigen, die ihn vielleicht vermissen, durch Privatstudien ihn leichter nachholen werden, als jene Uebungen, die im ersten Falle ihnen fremde geblieben waren.

Diese Andeutungen beziehn sich vorzugsweise auf die höhere Analysis und auf die Mechanik. Man bemerkt oft, daß junge Leute unmittelbar nach Beendigung ihrer Studien manche Integrationen mit Sicherheit auszuführen verstehn, daß aber die Berechnung eines Zahlenbeispiels nach den gefundenen Resultaten sehr große und nicht selten sogar unüberwindliche Schwierigkeiten macht. Es fehlt nicht nur an Uebung und Sicherheit im gewöhnlichen Gebrauche der Logarithmen-Tafeln, sondern die Benutzung derselben zur Berechnung mancher Functionen, zu denen die Integration führt, wie etwa eines natürlichen Logarithmen, oder eines Bogens, der durch eine trigonometrische Linie gegeben ist, scheint meist ganz unbekannt zu sein. Von solchen mathematischen Studien ist augenscheinlich für den spätern Dienst und für die Förderung der Wissenschaft nichts zu erwarten. Hat man eine Formel vergessen, so kann man sie im Hefte oder im Lehrbuche immer leicht wiederfinden, wenn aber ihre Be-

deutung nie klar gewesen ist, so bleibt ihre Benutzung unmöglich.

Die Beschränkung des Vortrages auf die wichtigsten und am häufigsten zur Anwendung kommenden Sätze rechtfertigt sich auch in sofern, als in den seltenen Fällen, wo vielleicht eine schwierigere Integrations-Methode benutzt werden könnte, die Resultate noch in andrer Art, wie etwa durch Auflösung in Reihen oder durch mechanische Quadratur, wenn auch meist etwas mühsamer, doch in beliebiger Schärfe dargestellt werden können. Der ganze Unterricht wird aber wesentlich an Interesse gewinnen, wenn er immer auf die Anwendung hinweist, besonders aber, wenn er auch mit einigen wirklichen Beobachtungen und Messungen und mit der Untersuchung der dabei gefundenen Resultate verbunden wird. Hierdurch gelangt der Zuhörer zu der Einsicht, daß seine mathematischen Studien einen reellen Zweck haben und sich nicht allein auf die bevorstehenden Prüfungen beziehen.

Noch in andrer Weise ist eine wesentliche Abkürzung des theoretischen Unterrichts nicht nur zulässig, sondern sogar dringend geboten. Die Herleitung der Lehrsätze der Mechanik auf elementärem Wege beruht genau auf denselben Anschauungen, die der höheren Analysis zum Grunde liegen, auch ist sie keineswegs verständlicher, als die Methoden der letzteren sind, vielmehr gehn diese von den einfachsten Vorstellungen aus, und führen auf dem kürzesten Wege zum Ziele. Wenn daher in den spätern Studien, wozu jeder Baumeister verpflichtet ist, dieselben Sätze, die er mit elementärer Herleitung bereits erlernt hatte, nunmehr wieder analytisch entwickelt und in dieser Weise zum zweiten male erlernt werden, so wird der erste Unterricht augenscheinlich ganz überflüssig. Der Grund, weshalb man von dieser zweimaligen Behandlung desselben Gegenstandes sich nicht lossagen mag, beruht wieder auf der Vorstellung, daß die Differenzial- und Integral-Rechnung nicht anders, als in der ganzen üblichen Ausdehnung vorgetragen werden dürfen. Hier-

nist aber um so weniger Veranlassung, als schliesslich doch eine willkürliche Grenze gesetzt werden muss. Es würde auch nichts hindern, den Vortrag über Analysis mit dem über Mechanik in der Art zu verbinden, dass der letzte (wie Poisson wirklich gethan hat) mit der Herleitung derjenigen Sätze der Analysis beginnt, auf welche im betreffenden Cursus Bezug genommen wird. Hierdurch fiel auch die oft vorkommende Schwierigkeit von selbst fort, dass in der Mechanik einzelne analytische Sätze benutzt werden müssen, die der Schüler noch nicht kennt, weil beide Disciplinen gleichzeitig vorgetragen werden.

Endlich wäre in Betreff der Uebung im Zahlenrechnen noch daran zu erinnern, dass man sich des Maasses der erreichbaren Schärfe stets bewusst bleiben muss, und dass kein reeller Grund denkbar ist, weshalb die Rechnung mit viel grösserer Schärfe geführt werden sollte, als das Resultat haben kann. Der Baumeister wird niemals im eigentlichen Dienste, und nur überaus selten, wenn er um die Förderung der Wissenschaft sich bemüht, Beobachtungen oder Messungen machen, in welchen die Zahlenwerthe bis auf den hunderttausendsten Theil sicher sind. Fünfstellige Logarithmen-Tafeln sind also für den gewöhnlichen Gebrauch und beim Unterricht vollkommen genügend. Dieselben gewähren die grosse Erleichterung, dass man mit sehr seltenen Ausnahmen die gesuchten Logarithmen oder Zahlen unmittelbar ablesen kann, indem die geringen Differenzen sich von selbst ergeben und leicht hinzuzufügen oder abzuziehen sind. Die Rechnung wird also vergleichungsweise zur Anwendung siebenstelliger Tafeln in hohem Grade abgekürzt, oder die Durchführung von Zahlenbeispielen erfordert einen viel geringeren Zeitaufwand. In den meisten Fällen, und namentlich wenn Erfahrungs-Coefficienten benutzt werden, genügen selbst vierstellige Tafeln und der Englische Ingenieur bedient sich sogar gewöhnlich nur des Rechenschiebers (slide-rule) der noch weniger genau ist. Das Resultat, zu dem er aber mit Hülfe desselben

in der kürzesten Zeit gelangt, liegt gemeinhin der Wahrheit näher, als wenn jemand, dem alle Uebung fehlt, mit siebenstelligen Logarithmen zu rechnen versucht. Doch selbst diese sieben Stellen genügen manchem practischen Baumeister noch nicht. Um seinen Arbeiten den Schein einer grossen Genauigkeit zu geben, läßt er zuweilen einzelne Zahlen auf ein Dutzend Decimalstellen und wohl noch schärfer berechnen. Der Mangel an mathematischer Bildung giebt sich, wie ich einst einen bewährten Physiker sagen hörte, durch nichts so auffallend zu erkennen, als durch die maafslose Schärfe im Zahlenrechnen.

Diese Aeufserungen über theoretische Studien und über den Nutzen derselben sind nicht nur in sich begründet, sondern werden auch durch die grossen Erfolge bestätigt, die in andern Erfahrungs-Wissenschaften durch sorgfältige Behandlung genauer Beobachtungen erreicht sind. In manchen Bildungs-Anstalten für Ingenieure hat die bezeichnete Richtung bereits Eingang gefunden, da dieses jedoch noch keineswegs allgemein geschehn ist, vielmehr in neuerer Zeit hin und wieder sogar Rückschritte gethan sind und der Gegensatz zwischen Theorie und Praxis immer schroffer sich gestaltet, so habe ich es für Pflicht gehalten, ohne Beschönigung die Mifsstände zu bezeichnen, die eine gedeihliche Ausbildung der Wasserbaukunst so wesentlich erschweren und fast unmöglich machen.

Berlin, 1862.

G. Hagen.

Inhalts-Verzeichnifs

des ersten Bandes.

Abschnitt I.

Allgemeine Erscheinungen im Meere.

	Seite
§. 1. Ueber Wellen im Allgemeinen	3
§. 2. Wellen auf Wasserflächen von unendlicher Tiefe	23
§. 3. Wellen auf Wasserflächen von geringer, aber constanter Tiefe	47
§. 4. Wellen auf Wasserflächen von größerer, jedoch endlicher und constanter Tiefe	71
§. 5. Wellen auf ansteigendem Grunde	79
§. 6. Fluth und Ebbe im offenen Meere	104
§. 7. Fluth und Ebbe in der Ostsee	136
§. 8. Fluth und Ebbe in den Strom-Mündungen	154
§. 9. Wasserstände der Ostsee	170
§. 10. Meeres-Strömungen	185
§. 11. Meerestiefen, Salzgehalt und erdige Beimengungen des Seewassers	196
§. 12. Veränderungen der Meeres-Ufer	212

Abschnitt II.

Eindeichungen am Meere.

§. 13. See-Deiche	247
§. 14. See-Marschen	258
§. 15. Ausführung der Deiche	273
§. 16. Sicherung der Deiche	288
§. 17. Schließung der Deichbrüche	304
§. 18. Siele	315
§. 19. Die Entwässerung des Rheinlandes durch die Siele bei Catwijk	349

Erster Abschnitt.

Allgemeine Erscheinungen im Meere.

§. 1.

Ueber Wellen im Allgemeinen.

Die Bauten am Meere haben wesentlich denselben Zweck, wie die Strombauten. Man beabsichtigt durch sie theils die Ufer zu schützen, oder auch wohl neues Vorland zu gewinnen, theils aber auch die Mündungen der Ströme, Flüsse und zuweilen sogar der Bäche offen zu erhalten, damit die Vorfluth des Binnenlandes nicht gestört wird. Vorzugsweise beziehn sie sich indessen auf die Sicherstellung und Erleichterung der Schifffahrt.

Einen wesentlichen Unterschied gegen die Strombauten bedingt schon die letzte Rücksicht, insofern der viel grössere Tiefgang der Seeschiffe auch viel schwierigere Anlagen und Ausführungen fordert. Ausserdem aber treten im Meere noch gewisse Erscheinungen und manche Eigenthümlichkeiten ein, die ganz verschiedene Anordnungen und Constructionen fordern. Zu diesen gehört vorzugsweise der Wellenschlag, dessen zerstörenden Wirkungen man durch die äussersten Mittel der Kunst kaum zu begegnen im Stande ist, ferner der Wasserwechsel der Fluth und Ebbe, der nicht nur auf die Schifffahrt, sondern auch auf die Ufer und namentlich auf die Deiche von wesentlichem Einflusse ist. Sodann kommen die Strömungen in Betracht, die theils von der Fluth und theils von andern Ursachen herrühren. Sie wirken gleichfalls wieder meist zerstörend, während sie in mancher Beziehung schon an sich von Nutzen sind und bei angemessener Anordnung der Werke die Schifffahrt erleichtern.

Eine Rücksicht, die beim Strombau mit der grössten Aufmerksamkeit stets beachtet werden muss, nämlich die Erhaltung der nöthigen Profilweite, sowol für das kleine, als auch vorzugsweise für das hohe Wasser, fällt bei den Bauten am Meere ganz fort, indem

die Profile hier an sich übermäfsig grofs und vergleichungsweise zu dem Bedürfnisse sogar unbegrenzt sind. Ferner kommt die Beschaffenheit des Wassers in Betracht. Wegen des starken Salzgehaltes gedeihen am Meeresufer keine Strauchpflanzungen, und nur gewisse Gräser sind hier noch vortheilhaft zu verwenden, während andre Pflanzen in den Buchten den Schlickboden überziehn, wenn derselbe auch bei jeder Fluth mehrere Fufs hoch inundirt wird. Endlich sind bei manchen Anlagen die im Wasser schwebenden erdigen Theilchen von grofser Wichtigkeit.

Die erwähnten Erscheinungen und Eigenthümlichkeiten finden ihre Grenze nicht an den Stellen, wo die Ströme sich in das offene Meer ergiefsen, vielmehr zeigen sie sich oft, wenn auch nur in geringerem Maafse, noch viele Meilen weit stromaufwärts. Sie werden nach und nach immer unmerklicher, bis sie endlich an gewissen Stellen ganz verschwinden. Diese Stellen sind aber nicht constant. Eine höhere Fluth dringt im Strome weiter aufwärts, als eine schwächere. Das salzige Wasser des Meeres wird bei starker Entwässerung aus dem Binnenlande weiter herabgedrängt. Deshalb schliesst der eigentliche Seebau auch nicht an bestimmter Stelle ab, sondern geht vielmehr allmählig in den Strombau über. Man nimmt gewöhnlich an, die Grenze zwischen beiden befinde sich da, wo die Rückströmung der Fluth aufhört.

Die Wirkungen der benannten Erscheinungen sind im Allgemeinen nur zerstörend. Am offenen Meere, also mit Ausschluss der Buchten und derjenigen Wasserflächen, die durch davorliegende Untiefen und Inselreihen geschützt sind, befinden sich die Ufer überall im Abbruche. Ein felsiges Ufer, und namentlich wenn es aus fester Gebirgsart besteht, erhält sich freilich lange Zeit hindurch, ohne ein Zurückweichen bemerken zu lassen, aber dafs die mechanischen und wahrscheinlich auch die chemischen Kräfte des Meerwassers darauf einwirken, ergiebt sich deutlich, wenn man solches Ufer näher betrachtet. Alle vorragenden Theile, die am stärksten angegriffen werden, verschwinden, und die Oberfläche des harten Gesteines nimmt jedesmal eine auffallende Glätte an. Ist das Gestein dagegen weich, also etwa Kreide, so lösen sich von Zeit zu Zeit grofse Massen und stürzen herab. Diese werden von den Wellen hin und hergetrieben, und bald so fein zerrieben, dafs sie im Wasser schweben. In diesem Zustande entfernen sie sich weit

vom Ufer und versinken bei ruhiger Witterung in die Tiefe, von wo sie nie wieder zum Vorschein kommen. Dasselbe geschieht mit dem Thon. Nur der Sand und Kies, obwohl er bei der immer wiederholten Bewegung sich abschleift, und dadurch jedes Körnchen mit der Zeit sich verkleinert, bleibt in der Nähe des Ufers. Wellen und Strömungen treiben ihn am Ufer fort, und wenn er auch auf dessen Böschung herabsinkt, so kann er doch im Wasser sich nicht schwebend erhalten, und dieses sichert ihn vor dem Versinken in die Tiefe. Er bleibt daher der Einwirkung der Wellen ausgesetzt, und unter Umständen kann er wieder über das Wasser gehoben und vielleicht sogar durch die Winde weit landwärts geführt werden. Nichts desto weniger sind hohe sandige Ufer mehr als andre einer schnellen Zerstörung ausgesetzt.

In den Meeresbuchten oder an geschützten Stellen ist das Verhältniß ein ganz andres. Hier bildet sich häufig von selbst ein neues Vorland oder die Ufer rücken vor, und es ist gemeinhin sehr leicht, an solchen Stellen die Aufschlickung künstlich zu befördern und dadurch große fruchtbare Flächen Landes dem Meere abzugewinnen.

Die erwähnten großartigen Erscheinungen am Meere, nämlich der Wellenschlag, der Fluthwechsel und die Strömungen sind auch für die Schifffahrt und für den Hafenbau von der äußersten Bedeutung. Sie sind vorzugsweise zu berücksichtigen, wenn man die Hafenmündung und das von der tiefen See aus dahin führende Fahrwasser offen erhalten und dasselbe zugleich für die einlaufenden Schiffe bequem einrichten will. Außerdem dürfen sie aber auch bei der innern Einrichtung der Häfen und bei der Darstellung der Wasserverbindungen mit dem Binnenlande nicht unbeachtet bleiben. Indem ihr Einfluß in allen Theilen des Seebaues sich als überwiegend herausstellt, so ist es gewiß nothwendig, mit einer ausführlichen Erörterung dieser Erscheinungen zu beginnen. Dieses wird um so mehr sich rechtfertigen, als die Schriften über See- und Hafenbau hierüber meist nur vereinzelte Thatfachen enthalten, die den innern Zusammenhang der verschiedenartigen Wirkungen nicht klar erkennen lassen, und sonach den Wasserbaumeister nicht in den Stand setzen, in jedem besondern Falle die Mittel passend zu wählen, und sich ein sicheres Urtheil darüber zu bilden, was nach den localen Verhältnissen überhaupt zu erreichen ist. Die vielfachen

Mifsgriffe, die in dieser Beziehung vorgekommen sind, und sich noch dauernd wiederholen, werden es gewifs rechtfertigen, dafs die Aufmerksamkeit des Baumeisters hierauf gelenkt und derselbe veranlaßt wird, durch sorgfältige Beobachtung und Zusammenstellung der Thatsachen, die mannigfaltigen und grofsen Zweifel, die namentlich in Bezug auf die Wirkung der Wellen zur Zeit noch bestehn, nach und nach zu beseitigen.

Ich gehe zunächst zur Untersuchung der Wellen über. Die Erscheinung ist im Allgemeinen bekannt. Schon auf kleineren Wasserflächen, auf Binnenseen, Weihern und Canälen bemerkt man, wie bei stärkerem Winde langgezogene Erhebungen des Wassers in gewissen, nahe gleichen Abständen sich bilden und in der Richtung des Windes fortlaufen, während diese erhöhten Kämme oder Rücken, sowie auch die zwischenliegenden Thäler eine Richtung haben, welche die des Windes unter rechtem Winkel schneidet. Im Meere und besonders in grofsen Meeren, wie im Atlantischen und Stillen Ocean bildet sich die Erscheinung zur Zeit des Sturmes viel grofsartiger aus, die Kämme der Wellen erheben sich bis 30 Fufs und nach einzelnen Beobachtungen sogar noch höher über die zwischenliegenden Einsenkungen, und bewegen sich mit Geschwindigkeiten bis zu 6 und 7 deutschen Meilen in der Stunde, also ungefähr ebenso schnell, wie Personenzüge auf Eisenbahnen. Wer zum ersten Male auf einer Seereise diese anstürmenden Wasserberge sieht, kann sich der Besorgnis nicht erwehren, dafs sie beim Zusammenstofse mit dem Schiffe dasselbe zertrümmern müssen, und gewifs würde dieses geschehn, wenn die Wassermasse selbst die Geschwindigkeit der Wellen besäfsse. Bei Wellen, die auf den Strand auflaufen, ist dieses in der That der Fall, und ein Schiff, welches hier auf dem Grunde steht, wird auch, wenn die Wellen nicht vorher schon wesentlich geschwächt waren, meist in kurzer Zeit zerschellt. Das Schiff dagegen, das auf tiefem Wasser schwimmt, empfängt von der anlaufenden Welle nur einen sehr mäfsigen Stofs, und in einem Boote empfindet man selbst diesen nicht. Die Wassermasse hat daher nicht die Geschwindigkeit, mit der die Welle sich bewegt. Dieses ergiebt sich auch schon daraus, dafs man vor dem Ufer, gegen welches die Wellen anlaufen, das Wasser keineswegs in dem Mafse ansteigen sieht, wie es steigen müfste, wenn jede Welle wirklich die ihr entsprechende Wassermasse neu hinzuführte.

1. Uebst Wellen im Allgemeinen.

7

Ein anderer Umstand verdient gleichfalls Beachtung. Wenn in einem Meere ein starker Wellenschlag erregt ist, so dauert dieser auch nach dem Aufhören des Sturmes noch lange, und im Meer bis 24 Stunden fort. Hieraus ergibt sich, daß bei der Wellenbewegung in tiefem Wasser die lebendige Kraft nur in geringem Maße zerstört wird, daß also die Reibung nicht bedeutend sein kann. Die Bewegung muß also in der Art erfolgen, daß die sich befindenden einzelnen Wassertheilchen sich nicht von einander trennen, vielmehr dauernd in Berührung bleiben.

Bei aufmerkssamer Betrachtung der Erscheinung auf kleineren Wasserflächen kann man schon erkennen, welche Bewegungen dabei wirklich eintreten. Die Theilchen, welche die Oberfläche bilden, heben und senken sich beim Vorübergange jeder Welle. Kleine darauf schwimmende Körper, wie etwa Holzstückchen und selbst Schwammstücken, die jedoch nur wenig vorstehen dürfen, um der unmittelbaren Einwirkung des Windes nicht zu stark ausgesetzt zu sein, sieht man keineswegs mit der Geschwindigkeit der Wellen fortwehen, vielmehr bleiben sie nahe an derselben Stelle, wo sie ursprünglich waren, oder sie bewegen sich doch nur sehr langsam in der Richtung des Windes fort. Dagegen bemerkt man allerdings, daß sie in dieser Richtung gewisse und zwar abwechselnd entgegengesetzte Bewegungen annehmen. Sobald das Holzstückchen vom Scheitel einer Welle getroffen wird, so folgt es ihrer Richtung, sobald es sich aber im Thale zwischen zwei Wellen befindet, so schwimmt es wieder zurück. Die Wassertheilchen mit den darin schwebenden fremdartigen Körpern bewegen sich also, wenigstens an der Oberfläche des Wassers, beim Vorübergange jeder Welle abwechselnd auf und ab, und zugleich hin und her, und kommen wieder an ihre frühere Stelle zurück. Hieraus folgt, daß sie gewisse geschlossene Bahnen durchlaufen, und zwar ist in den obern Scheiteln derselben ihre Richtung mit der der Wellen übereinstimmend, in den untern aber entgegengesetzt.

Viel deutlicher ergibt sich dieses, und nicht nur für die in der Oberfläche befindlichen, sondern auch für die weiter abwärts belegenen Wasserschichten, wenn man von einem größeren, vor Anker liegenden Schiffe aus, das von dem mäßigen Wellenschlage wenig oder gar nicht afficirt wird, einen leicht erkennbaren Körper herabwirft, dessen specifisches Gewicht wenig größer, als der des Meer-

wassers ist, der also langsam in die Tiefe sinkt. Hierzu eignet sich schon ein leinenes Tuch oder ein Bogen Papier, den man durch Rollen zwischen den Händen in einen kugelförmigen Ballen umformt, und ihn vorher in Wasser getaucht und so vollständig getränkt hat, daß er ganz durchnäßt ist, und keine Luft sich darin befindet. Wirft man denselben herab, so taucht er sogleich vollständig unter, und indem er nunmehr sich ausbreitet, so versinkt er langsam. Bei klarem Wasser kann man ihn alsdann mehrere Minuten hindurch verfolgen und seine horizontalen Bewegungen deutlich wahrnehmen. Man bemerkt aber, daß jedesmal, so oft der obere Scheitel einer Welle darüber geht, er der Bewegung desselben folgt, und später wieder zurücktreibt. Dieselbe Bewegung, welche die Wassertheilchen der Oberfläche haben, erfolgt daher gleichzeitig auch in den darunter befindlichen Schichten.

Um Mißverständnissen zu begegnen muß darauf aufmerksam gemacht werden, daß diese rotirende Bewegung nicht etwa größere Wassermassen umfaßt, die sich um eine gemeinschaftliche Achse drehen. In solchem Falle würden sehr scharfe Uebergänge unvermeidlich sein, deren Folge wieder eine starke Reibung wäre. In der Vertikal - Ebene, in der diese Bewegungen erfolgen, schwingt vielmehr jedes einzelne Wassertheilchen um eine besondere Achse, und wenn man vorläufig annimmt, daß die Bahnen Kreise sind, so giebt die sogenannte Wellenmaschine, die in physikalischen Cabineten häufig gefunden wird, ein richtiges und anschauliches Bild von den Bewegungen der in der Oberfläche befindlichen einzelnen Wassertheilchen. Bei dieser Maschine sind nach Figur 1 in einer Horizontal - Ebene eine große Anzahl von Achsen $a, a \dots$ angebracht, die durch einen umgeschlungenen Faden sämmtlich in übereinstimmende rotirende Bewegung versetzt werden, so daß sie alle in gleicher Zeit ihre Umdrehungen vollenden. An dem Ende einer jeden von diesen Achsen ist ein Stäbchen befestigt, dessen äußeres Ende durch einen Knopf c besonders markirt ist. Diese Stäbchen oder Radien haben gleiche Länge, so daß der Abstand ac bei allen gleich groß ist. Die Achsen werden nun gegen einander so verstellt, daß die Neigung des Stabes gegen den Horizont bei jeder folgenden Achse um einen gewissen Winkel (in der Figur um 30 Grade) größer wird. Die Knöpfe bilden alsdann schon im Stande der Ruhe eine gestreckte Cycloide, und diese Form erhält sich auch

bi der gleichmäßigen Drehung aller Achsen, aber der obere Scheitel der Cycloide bleibt alsdann nicht an der Stelle, wo er anfangs war, sondern bewegt sich, während ein Stäbchen nach dem andern die vertikale Stellung annimmt, in derselben Richtung, in der die Drehung erfolgt, und nach einer vollständigen Umdrehung der Achsen hat der Scheitel der Welle die Länge derselben durchlaufen.

Denkt man nun in geringer Entfernung unter diesen ersten Achsen eine zweite Reihe derselben, in der die Stäbchen eben so gerichtet sind, wie die darüber befindlichen, jedoch eine etwas geringere Länge haben, so überzeugt man sich leicht, daß dieselben Knöpfe sowohl zur Seite, als auch abwärts immer denselben Knöpfen benachbart bleiben. Wenn also die Entfernungen der Achsen in jeder Reihe, so wie auch die Entfernungen der Reihen von einander unendlich klein gedacht werden, so ergibt sich, daß die einzelnen Wassertheilchen, die sich ursprünglich berührten, auch während der übereinstimmenden Drehung aller Achsen fortwährend mit einander in Berührung bleiben und kein fremdes Theilchen dazwischen treten kann.

Es giebt noch eine andere bekannte Erscheinung, welche eine überraschende Aehnlichkeit mit dem Wellenschlage der See zeigt, und die auch wesentlich mit diesem übereinstimmt. Ein Getreidefeld, in welchem die Aehren sich bereits so weit ausgebildet haben, daß sie bedeutend schwer geworden sind, während die Halme die nöthige Biegsamkeit und Elasticität noch besitzen, schlägt im Winde Wellen, wie das Wasser. Die Kämme oder Rücken der Wellen sind normal gegen die Richtung des Windes gekehrt, ihre Bewegung stimmt aber mit der letzteren überein. Es wiederholen sich daher hier sehr vollständig die Eigenthümlichkeiten der Wasserwellen, und augenscheinlich bleibt in diesem Falle jeder Halm mit seiner Aehre unverändert an seiner ursprünglichen Stelle. Die Erscheinung giebt sich hier in allen Einzelheiten leicht zu erkennen. Der Halm schwankt hin und her, und indem er sich neigt, so senkt sich die Aehre, die sogar durch die starke Krümmung des oberen Endes des Halmes besonders tief herabsinkt. Der Schwerpunkt der Aehre beschreibt also wieder eine geschlossene Bahn. Die Pflanzen stehn indessen so nahe neben einander, daß nicht eine einzelne unabhängig von den benachbarten ihre Bewegungen machen kann, vielmehr müssen diese Bewegungen übereinstimmen, und so geschieht

es, daß jede folgende Aehre (in der Richtung des Windes gezählt) jeden Punkt in ihrer Bahn etwas später einnimmt, als die vorhergehende den entsprechenden in der ihrigen. Es ergiebt sich hieraus, daß die Bewegungen der einzelnen Theilchen während des Wellenschlages, welche schon beim Wasser durch gewisse Wahrnehmungen angedeutet wurden, bei der letzterwähnten Erscheinung ganz unverkennbar wirklich eintreten.

Diese Wellen eines Getreidefeldes führen noch zu einer andern Anschauungsart der Wellenbewegung. Man betrachte die einzelnen Wassertheilchen, die vor dem Eintritt der Bewegung sich lothrecht über einander befinden. Dieselben bilden einen Wasserfaden, der ursprünglich lothrecht steht. Beim Wellenschlage muß derselbe jedenfalls gewisse Bewegungen machen, und sein oberes Ende muß sich abwechselnd erheben und senken. Dieses geschieht, wenn der Faden ähnlich dem Halme sich neigt und wieder lothrecht stellt, und dieser Fall entspricht der schon oben gemachten Annahme, daß die Bahnen, welche die einzelnen Wassertheilchen der Oberfläche durchlaufen, die größten Dimensionen haben, und weiter abwärts immer kleiner werden, bis sie endlich sich in Punkte verwandeln, wobei also die Bewegung ganz aufhört. Die Wellen können aber auch dadurch entstehen, daß diese Fäden, ohne ihre lothrechte Stellung aufzugeben, hin und hergeschoben und dabei abwechselnd zusammengedrängt und wieder von einander entfernt werden, wobei sie sich verlängern und verkürzen müssen. Endlich ist noch der dritte Fall denkbar, daß nämlich beide Arten der Bewegung sich mit einander verbinden, der Fuß des Fadens also hin und hergeschoben und zugleich der Faden vor und zurück geneigt wird. Aus dem Folgenden wird sich ergeben, daß alle drei Bewegungs-Arten wirklich vorkommen, und daß vorzugsweise die Wassertiefe entscheidet, welche von ihnen jedesmal eintreten muß.

Diese Betrachtung der Wasserfäden erklärt leicht eine sehr interessante und für den Hafenbau wichtige Erscheinung. Wenn nämlich die dem Wellenschlage ausgesetzte Wassermasse durch eine senkrechte Wand begrenzt wird, gegen welche die Wellen in normaler Richtung anlaufen, so werden die der Wand am nächsten stehenden Wasserfäden, welche den Impuls zu ihrer Bewegung von den vorhergehenden, noch frei ausschwingenden Fäden erhalten, sich weder verschieben noch neigen können. Die Pressung, die sie er-

fahren, kann sich also nur in der Längenausdehnung äußern. Dieses geschieht wirklich, und zwar wird die Höhe der Welle neben einer solchen Wand größer, als sie im freien Wasser war. Die starke Erhebung des Wasserspiegels verbunden mit dem Aufhören der fortschreitenden Bewegung ist aber Veranlassung zum Entstehen einer neuen Welle, oder bei fortgesetztem Anlaufen von Wellen zur Bildung eines neuen Wellensystems. Die Bewegung desselben kann aber, da jeder Wellenrücken in seiner ganzen Ausdehnung sich vor der Wand gleichzeitig erhebt, nur rückwärts und zwar wieder normal gegen die Wand erfolgen. Auch dieses geschieht wirklich. Läßt man eine Welle nach der andern normal gegen eine senkrechte Wand schlagen, so läuft jede einzelne dieser Wellen wieder in entgegengesetzter Richtung zurück, und zwar mit gleicher Geschwindigkeit und nahe in derselben Höhe, in der sie aufgelaufen war. Dasselbe geschieht auch, wenn die Wand nicht lothrecht, sondern gegen den Horizont geneigt ist, doch tritt in diesem Falle eine starke und augenfällige Schwächung der Wellen ein.

Wenn nun diese beiden Wellensysteme, die in direct entgegengesetzten Richtungen sich bewegen, gleichzeitig in einem größern oder kleinern Wasserbassin vorkommen, so kann man sehr deutlich beide Arten von Wellen unterscheiden, die sich keineswegs gegenseitig zerstören, vielmehr ganz unabhängig von einander ihre verschiedenen Wege verfolgen. Der einzelne Wasserfaden wird in diesem Falle von beiden Seiten durch die nächststehenden afficirt, und die Schwingung, die er macht, ist die Componente aus den beiden Bewegungen, zu denen der Druck des einen und des andern benachbarten Fadens ihn veranlaßt. Sind beide Pressungen gleich groß und positiv, was in dem Punkte geschieht, wo die obern Scheitel der beiderseitigen Wellen zusammentreffen, so macht der Faden gar keine Seitenbewegung, er verlängert sich nur, oder die Oberfläche erhebt sich, und zwar höher, als bei der einzelnen Welle, weil der beiderseitige Druck die Seitenbewegung vollständig unterbricht. Diese Erhebung ist aber in gleicher Weise, wie der Kamm der Welle neben der senkrechten Wand, Veranlassung zu einer neuen Wellenbildung, die in diesem Falle gleichmäßig nach beiden Seiten erfolgt. Das Umgekehrte geschieht, wenn die untern Scheitel oder die tiefsten Stellen zweier Wellen zusammentreffen. Die beiderseitigen Pressungen sind alsdann negativ und die Senkung

wird tiefer, als bei der einzelnen Welle. Nach dem momentanen Stillstande dringt das Wasser von der einen, wie von der andern Seite hinzu. An allen zwischenliegenden Stellen wird die Bewegung der Fäden nicht unterbrochen, und da diese gleichzeitig von beiden Systemen afficirt werden, so erfolgt ihre Bewegung in der Art, daß sie beiden Systemen sich anschließt. Die in beiden Richtungen laufenden Wellen durchdringen sich also, ohne sich gegenseitig zu zerstören, oder auch nur zu behindern.

Ist die senkrechte Wand, gegen welche die Wellen anlaufen, nicht normal, sondern schräge gegen die Richtung der Bewegung der letzteren gekehrt, so trifft die Pressung der nächst stehenden Wasserfäden gleichfalls schräge auf die Wand. Der Theil des Drucks, der parallel zur Wand gerichtet ist, wirkt in gleicher Weise fort, als wenn die Wand nicht vorhanden wäre, der darauf senkrecht treffende Theil dagegen bewirkt wieder das Zurücklaufen der Welle. Die Welle wird also, wie ein elastischer Körper, unter demselben Winkel, den die Richtung ihrer Bewegung mit der Wand macht, von der letzteren zurückgeworfen. Diese Uebereinstimmung in dem Verhalten der Wellen und elastischer Körper kann nicht befremden, insofern in beiden Erscheinungen die mechanischen Verhältnisse genau dieselben sind. Legt man elastische Kugeln von gleicher GröÙe in einer Reihe hintereinander, so daß sie sich unmittelbar berühren, und die Berührungspunkte sich in einer geraden Linie befinden, so überträgt sich der in gleicher Richtung auf die erste vorübergehend ausgeübte Druck oder Stoß auf alle bis zur letzten. Sobald irgend eine dieser Kugeln den Stoß empfängt, so wird sie zusammengedrückt, da sie wegen ihrer geschlossenen Lage nicht ausweichen kann. Diese Formveränderung, der die Elasticität entgegenwirkt, giebt aber Veranlassung, daß sie auf die nächstfolgende Kugel in gleicher Weise einwirkt, wie sie von der vorhergehenden afficirt wurde. Genau dasselbe geschieht mit einer Reihe von Wasserfäden, die in gerader Linie hinter einander stehn und nicht seitwärts ausweichen können. Wenn ein vorübergehender Druck auf den ersten Faden ausgeübt wird, so kann der Effect nur darin bestehn, daß dieser Faden, so wie später jeder folgende, dadurch ausweicht, daß er sich verlängert oder sein oberes Ende sich hebt. Diese Erhebung ist aber wieder Veranlassung, daß er auf den folgenden in gleicher Weise drückt, wie er gedrückt wurde.

Das Fortschreiten des Druckes giebt sich also durch das Fortschreiten der Welle zu erkennen. Lehnt sich die letzte elastische Kugel gegen eine Wand, die unter einem rechten Winkel die Richtung des Druckes trifft, so läuft der Druck, sobald er sich bis hierher fortgesetzt hat, wieder durch alle Kugeln zurück, und die erste wird fortgestossen. Ist dagegen die Wand schräge gegen die Reihe elastischer Körper gerichtet, die man in diesem Falle freilich als Scheiben von unendlich geringer Dicke denken muß, so wird der Druck oder Stofs ebenso wie von einer einzelnen dagegen laufenden Kugel unter gleichem Winkel sich rückwärts fortsetzen. Dasselbe geschieht bei den Wasserfäden, und die Uebereinstimmung beider Erscheinungen wird am auffälligsten, wenn man solche Wasserfäden voraussetzt, die sich nicht überneigen, sondern unter Beibehaltung ihrer vertikalen Stellung nur hin und hergeschoben werden.

Dafs die Wellen in dieser Weise wirklich zurückgeworfen werden, oder wie elastische Körper oder Lichtstrahlen reflectiren, ergibt sich aus manchen Erscheinungen im Grofsen. So kommt es vor, dafs in gewissen Seehäfen beim Einlaufen der Wellen diese an einzelnen Stellen sich so sehr concentriren und verstärken, dafs daselbst kein Schiff liegen kann, und wenn man die Form des Hafens näher prüft, so ergibt sich jedesmal, dafs von verschiedenen Ufereinfassungen die Wellen gerade hierher zurückgeworfen werden und daher die übermäfsige Bewegung veranlassen. Durch Versuche im Kleinen ist bei Anwendung von Wasser diese Erscheinung nicht in auffallender Weise darzustellen, wohl aber zeigt sie sich mit voller Deutlichkeit, wenn man, wie die Gebrüder Weber *) es thaten, statt des Wassers, Quecksilber anwendet. In dem einen Brennpunkte eines mit Quecksilber gefüllten elliptischen Gefäßes fielen in kurzen Zwischenzeiten einzelne Quecksilber-Tropfen herab, und diese erregten nicht nur die kreisförmigen Wellen, die man unter ähnlichen Umständen auch im Wasser sehr deutlich bemerkt, sondern die vom Rande des Gefäßes zurücklaufenden Wellen bildeten auch concentrische Kreise um den zweiten Brennpunkt, und vereinigten sich jedesmal in demselben, indem sich hier die Oberfläche sehr merklich erhob und senkte.

*) Die Wellenlehre auf Experimente gegründet, von den Brüdern E. H. Weber und W. Weber. Leipzig 1828. §. 171.

Die Erregung der Wellen erfolgt durch jede plötzliche Störung des Gleichgewichts einer ruhenden Wassermasse. Wenn ein Stein in einen Weiher geworfen wird, oder ein Tropfen in eine mit Wasser gefüllte Schaafe fällt, so bilden sich nach allen Richtungen Wellen, oder es entstehen einige concentrische kreisförmige Wellen, die sich vergrößern und immer weiter ausdehnen, bis sie endlich bei ihrer allmählichen Abschwächung sich so erniedrigen, daß man sie nicht weiter erkennen kann. Ganz dieselbe Erscheinung tritt aber auch ein, wenn man einen vorher ins Wasser eingetauchten Körper plötzlich herauszieht. Dabei pflegen freilich immer einige Wassertropfen herabzufallen, und es bleibt daher zweifelhaft, ob die kreisförmigen Wellen, die man wieder von der Stelle ab, wo der Körper versenkt war, nach dem Rande des Gefäßes laufen sieht, vielleicht von diesen Tropfen herrühren. Der Zweifel wird indessen beseitigt, wenn man diesen Versuch mit einer Röhre anstellt, die solche Weite hat, daß man die obere Oeffnung mit dem Daumen noch bequem schließen kann. Schließt man diese zuerst und taucht alsdann die Röhre einige Zoll tief ein, so wird beim plötzlichen Aufheben des Daumens das Wasser in gleicher Weise eindringen, als wenn ein eingetauchter Körper plötzlich herausgezogen wäre. Man sieht aber in diesem Falle, daß die kreisförmige Welle sich zuerst rings um die Glasröhre bildet und von hier nach dem Rande des Gefäßes läuft. Mittelst dieser Röhre läßt sich auch der erste Versuch, nämlich das plötzliche Eintauchen eines Körpers sehr bequem darstellen, wenn man die Röhre einige Zoll tief ins Wasser einsenkt, alsdann die obere Oeffnung schließt und die Röhre soweit hebt, daß ihr unterer Rand noch so eben unter der Oberfläche bleibt. Entfernt man alsdann den Daumen, so stürzt das Wasser aus der Röhre heraus, und die kreisförmige Welle läuft gleichfalls von der Röhre fort. Mag man den Versuch in der einen oder in der andern Art darstellen, so bleibt die Erscheinung dieselbe. Benutzt man ein kreisförmiges Gefäß, und hält man die Röhre in dessen Mitte, so wird freilich die kreisförmige Welle, nachdem sie den Rand erreicht hat, wieder zurücklaufen, oder die kreisförmigen Wellen verkleinern sich und schließen sich endlich an die Röhren an, aber die erste Bewegung erfolgt jedesmal von der Röhre aus nach dem Rande des Gefäßes, und nie in entgegengesetzter Richtung. Die Uebereinstimmung beider Erscheinungen erklärt sich

ohne Zweifel dadurch, daß beim plötzlichen Eintauchen die Erhebung oder der obere Scheitel der Welle gebildet wird, beim plötzlichen Herausziehen aber die Einsenkung oder der untere Scheitel. Es entsteht dabei aber niemals eine einzelne Welle, sondern stets mehrere, die einander folgen, und man sieht in beiden Fällen ganz gleiche Wellensysteme, in denen man bei der Flüchtigkeit der Erscheinung keinen Unterschied bemerken kann, die aber unverkennbar in derselben Richtung sich bewegen.

Dieselbe Ursache veranlaßt ohne Zweifel zuweilen auch im Meere einzelne Wellen. Wenn durch vulkanische Ausbrüche oder durch Erdbeben das bisherige Gleichgewicht in den Wasserflächen plötzlich in großem Maasse gestört wird, so erheben sich Wellen, die in der Nachbarschaft Landflächen inundiren, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen weit über dem Spiegel der See liegen, und von keiner Fluth erreicht wurden. Bei dem Erdbeben, das am 1. November 1755 Lissabon zerstörte, rollte daselbst eine 40 Fuß hohe und bei Cadix sogar eine 60 Fuß hohe Welle auf das Ufer. Ein Engländer (Namens Chase), der sich damals in Lissabon aufhielt, erzählt in einem Briefe, daß unmittelbar nach dieser Welle das Wasser sich soweit gesenkt habe, daß die in dem sehr tiefen Tajo ankernden Schiffe größtentheils auf dem trocknen Flussbette standen, daß aber dieser ersten Welle noch zwei andere von nahe derselben Höhe folgten. In den kleinen Antillen, wo der Fluthwechsel nur wenig über 2 Fuß misst, erhob sich das Meer 20 Fuß hoch. Dieselbe Erscheinung ist bei andern Erdbeben auch in Callao de Lima und in Chili beobachtet worden, und in dem ersten dieser Häfen sah Alexander von Humboldt bei voller Windstille plötzlich eine Reihe von 10 bis 14 Fuß hohen Wellen einlaufen, die nur durch submarine Erdbeben veranlaßt sein konnten.

Gewöhnlich werden die Meereswellen durch den Wind erregt. Wenn derselbe vollkommen gleichmäfsig auf die Oberfläche des Wassers wirkte, so wäre auch der Druck, den er verursacht, auf allen Theilen derselben ganz gleich, und das Gleichgewicht könnte nicht gestört werden. Diese Bedingung wird aber niemals erfüllt, indem die Wirkung des Windes immer ungleichmäfsig ist und er nicht nur abwechselnd sich verstärkt und schwächt, sondern wegen der wirbelnden Bewegungen im Luftstrome er stets an verschiedenen und selbst an nahe belegenen Stellen in verschiedener Stärke

und in anderer Richtung auftritt. Hierdurch wird jedesmal und zwar in kürzester Zeit ein ungleichmässiger Druck veranlaßt und das Gleichgewicht der Oberfläche aufgehoben. Sobald dieses aber auch nur in geringstem Maasse gestört ist, und die kleinsten Wellen sich gebildet haben, so verstärkt der Wind dieselben sehr schnell und theilt ihnen die Richtung der Bewegung mit, die er selbst hat. Man nehme an, die erste Störung des Gleichgewichts sei dadurch veranlaßt, daß eine Stelle der Oberfläche plötzlich stärker gedrückt wird, als die umgebenden; die Wirkung wird alsdann dieselbe sein, als wenn ein Körper auf jene Stelle herabfiel, und es werden schwache kreisförmige Wellen sich rings um sie bilden, die nach allen Richtungen sich verbreiten. Dieser gleichmässigen Verbreitung tritt aber die Wirkung des Windes entgegen. Diejenigen Theile der Kreiswellen, die gegen den Wind laufen, werden von ihm aufgehalten, er drückt in der vordern Böschung die Wassertheilchen zurück, die im Aufsteigen begriffen sind. Diejenigen Wellentheile, deren Bewegung normal gegen die des Windes gerichtet ist, werden von ihm gar nicht afficirt. Diejenigen dagegen, welche in derselben Richtung sich bewegen, die der Luftstrom hat, werden durch den letzteren verstärkt. Er trifft, so lange seine Geschwindigkeit noch grösser ist, als die der Welle, die hintere Dossirung. Er beschleunigt also ihre Bewegung theils unmittelbar und theils dadurch, daß er die im Herabsinken schon begriffenen Wassertheilchen noch stärker herabdrückt, während die in der vordern Dossirung befindlichen Theilchen am Aufsteigen nicht gehindert werden, weil der Kamm der Welle sie überragt und sie vor der Einwirkung des Windes schützt. So geschieht es, daß die vor dem Winde laufenden Theile der ursprünglich kreisförmigen Wellen sich vorzugsweise ausbilden und in überwiegenden Dimensionen auftreten. Sobald sie aber eine starke Bewegung angenommen haben, so reißen die am Ende befindlichen Wassertheilchen die nächst liegenden mit sich fort, und in dieser Art entstehn die lang gezogenen Wellen, deren Rücken bei heftigem Sturme und auf grossen Meeren meilenweite Ausdehnung annehmen.

In voller Regelmässigkeit bilden sich die Wellen vielleicht niemals aus. Auf kleinen Gewässern, so wie auch in der Nähe der Ufer des Meeres und namentlich in Buchten, wo die Wellen einlaufen, zeigen sich diese Unregelmässigkeiten besonders auffallend.

Von man sich auf einem hohen Ufer befindet, von dem aus man eine grössere Wasserfläche übersehn kann, so lassen sich die einzelnen Wellen, deren Kamm niemals eine bedeutende Längenausdehnung hat, selten längere Zeit hindurch verfolgen. Nach einer Viertel-, oder spätestens nach einer halben Minute verschwinden sie plötzlich, während daneben andere auftauchen. In grossen und tiefen Meeren, woselbst die Wellen sich viel vollständiger ausbilden, findet ein solcher Uebergang aus einem Systeme in das andre vielleicht gar nicht, oder doch nur viel seltener statt. Dagegen sind auch hier die Wellen in Betreff ihrer Höhe sehr verschiedenartig, und niemals zeichnet sich eine einzige Welle durch die grössere Höhe aus, sondern immer findet ein allmählicher Uebergang statt. Nach der Meinung der Schiffer folgen sich immer drei besonders hohe Wellen, von denen die mittelste am meisten sich erhebt. Dieses erklärt sich wohl dadurch, dass zwei oder noch mehr verschiedene Systeme von etwas abweichenden Perioden gleichzeitig bestehn, die zuweilen zusammenfallen und alsdann die besonders hohen Wellen erzeugen. In manchen Fällen thürmen sich die Wellen und zwar nur stellenweise zu einer überraschenden Höhe auf, so dass grosse Wassermassen auf das Deck des Schiffes treten und alle Gegenstände fortspülen, die grössere Angriffsflächen bieten und mit dem eigentlichen Schiffskörper nicht auf das Innigste verbunden sind. Diese Wellen, die ohne Zweifel aus dem Zusammentreffen verschiedener, sich kreuzender Systeme entstehn, nennt man Sturzseen.

Bei stark bewegter See und heftigem Winde bemerkt man sehr deutlich, dass gleichzeitig eine grosse Anzahl von Wellensystemen in verschiedener Stärke und verschiedener Richtung auftritt. Als ich einst bei starkem Nordwinde von Dover nach Ostende fuhr und Foreland passirt war, folgten die grössten Wellen der Richtung des Windes und diese verursachten vorzugsweise das heftige Stampfen und Rollen des Dampfbootes. Neben diesem Systeme zeigten sich aber auch viele andre, welche, wenn auch schwächer, doch ganz regelmässig sich ausgebildet hatten und ohne Störung das erste verschiedenartig kreuzten. Selbst an Wellen von sehr geringer Erhebung fehlte es nicht, welche die bewegte Wasserfläche netzartig überzogen, und unter diesen waren auch solche, welche der Richtung des Windes entgegenliefen. Eine viel grossartigere Entwicklung der Wellen sah ich, als ich bei mässigem Südwestwinde auf

dem Wege von Southampton nach Lissabon durch die Bai von Biscaya in gerader Richtung von der Insel Ushant (vor der nordwestlichen Ecke Frankreichs) nach dem Cap Finisterre fuhr. Der schwache Wind bildete ein System von Wellen, die nur etwa 3 Fufs hoch waren und dem Dampfschiffe gerade entgegen liefen. Ob diese Wellen bedeutende Ausdehnung hatten, liefs sich nicht erkennen, da ein anderes System überwiegend war, welches aus Nordwest anlief und die ersten sehr nahe unter rechtem Winkel kreuzte. Dieses mufste auf der Höhe des Atlantischen Oceans seinen Ursprung haben, wo ein anderer und wahrscheinlich viel stärkerer Wind es erregt hatte. Von dem hohen Vorderdeck aus, welches freie Aussicht über das ganze Schiff bot, konnte ich die Kämme dieser Wellen sehr deutlich betrachten. Sie zogen sich in geraden Linien hin und so weit das Auge reichte, war keine Unterbrechung in ihnen zu bemerken. Die Zwischenzeiten, in welchen sie das Schiff trafen, zeigten merkliche Abweichungen, doch mochten diese davon herrühren, dafs bei dem starken Rollen des Schiffes einige Veränderung des Curves unvermeidlich war. Als ich auf dem vordern Theile des Quarterdecks, also nahe in der Mitte des Schiffes stand, sahe ich, wenn wir uns gerade im untern Wellenscheitel befanden, die obern Wellenscheitel gewöhnlich in der Höhe des Horizontes. Die mittlere Wellenhöhe liefs sich hiernach leicht, und um so sicherer messen, als die Längenachse des Schiffes den Kämmen der Wellen parallel war, und sonach das ganze Schiff sich im Wellenthale befand. Es kam nur darauf an, die Messung in solchen Momenten vorzunehmen, wo das Schiff sich nicht merklich seitwärts überneigte, weil bei dem heftigen Rollen sonst die Höhe zu grofs oder zu klein gefunden wäre. Es ergab sich hiernach die mittlere Höhe der Wellen $12\frac{1}{2}$ Fufs Rheinländisch. Viele Wellen blieben aber niedriger und in Zwischenzeiten von wenigen Minuten traten immer einzelne höhere Wellen auf, die man schon in weiter Ferne bemerken konnte, und die sich, sobald sie das Schiff trafen, durch das viel stärkere Schwanken desselben zu erkennen gaben. Einzelne derselben waren 18 Fufs hoch.

Aufser den erwähnten beiden Wellensystemen bemerkte man zunächst die im Buge des Dampfbootes erregten Wellen, welche zu beiden Seiten des Schiffes sichtbar waren, und deren Kämme gegen das Kielwasser Winkel von 35 Graden bildeten. Drei dieser

Wellen waren hinter einander sehr deutlich sichtbar und sie liefen über die andern fort, bis sie etwa in der Entfernung von 100 Ruthen verschwanden. Endlich traten wieder sehr verschiedene kleinere Systeme auf, die man in den sich kreuzenden Furchen der Wasserflächen erkennen konnte.

Die vorstehenden Mittheilungen beziehn sich allein auf die Erscheinungen im tiefen Wasser. Wo sich der Boden erhebt und besonders wo er steil aufsteigt, wenn er auch noch weit unter der Oberfläche bleibt, werden die Schwingungen der Wasserfäden plötzlich gehemmt, und die ihnen mitgetheilte lebendige Kraft kann sich nur in einer grösseren Erhebung des Wassers äussern. Es bilden sich alsdann die sogenannten Grundwellen, die wegen ihrer unregelmässigen und stossenden Bewegung besonders gefürchtet werden. Wenn die Untiefen höher ansteigen, so können die Wellen sich nicht mehr als zusammenhängende Wassermassen ausbilden. Ihre obern Schichten empfangen noch den vollen Stoss, dem die horizontale Bewegung der im Scheitel befindlichen Theilchen entspricht, die darunter liegenden werden aber durch den ansteigenden Boden aufgehalten, sie können also nicht schnell genug folgen, und der Scheitel, dem alsdann die Unterstützung fehlt, neigt sich vorn über, bis er ganz unabhängig von den frühern rotirenden Bewegungen der einzelnen Wassertheilchen, allein den Gesetzen der Schwere folgend, mit lautem Getöse hinabstürzt. Diese Erscheinung ist unter dem Namen der Brandung bekannt. Sie zeichnet sich vor allen übrigen Wellen dadurch aus, dass sowol wegen der Luft, die von dem überschlagenden Kamme eingeschlossen wird, als durch das freie Herabfallen der Wassermasse eine sehr starke Schaumbildung jedesmal stattfindet. Das glänzende Weiss der Brandung ist selbst in der Dunkelheit schon in weiter Ferne bemerkbar, während das in kurzen Zwischenzeiten wiederholte oft donnerähnliche Getöse den Schiffer gleichfalls vor der Gefahr warnt. Wo die Welle brandet, ist die Wassertiefe meist so geringe, dass das Schiff nicht mehr schwimmen kann, es läuft also Gefahr zu stranden, und von den ungeschwächt anlaufenden Wellen in kürzester Frist zerschlagen zu werden. Wenn aber auch die Tiefe hinreichend gross ist, so dass das Schiff, ohne den Grund zu berühren, darüber gehn kann, so hebt und senkt es sich auf diesen starken Wellen viel mehr als in der offenen See, und besonders sinkt es tiefer hinab, insofern

die schäumende Wassermasse ein weit geringeres specifisches Gewicht hat und daher weniger trägt. Wenn daher auf der Barre vor der Mündung eines Stromes unter gewöhnlichen Verhältnissen auch überflüssige Wassertiefe ist, so wird es doch bedenklich, bei starkem Wellenschlage sie zu überfahren, weil gerade hier das Schiff so tief durchschlägt. Auch die ganz veränderte Bewegung der einzelnen Wassertheilchen vermehrt die Gefahr. Während das Wasser im offenen Meere so wie auch vor einer steilen Felswand nur hin- und herschwankt, ohne entschieden der Richtung des Sturmes zu folgen, so nimmt in der Brandung die ganze Masse diese Bewegung an und es bildet sich beim Aufschlagen jeder Welle eine heftige, dem Ufer zugekehrte Strömung. Dieselbe erschwert noch wesentlich die Steuerung und vermehrt dadurch die Gefahr.

Wenn das Meeresufer nicht ganz steil und nahe senkrecht aus großer Tiefe bis über den Scheitel der Wellen emporsteigt, so bildet sich beim Sturme vor demselben jedesmal eine starke Brandung. Ist das Ufer flach und sandig, so zeigt sich auf demselben ein sehr regelmässiges, wenig geneigtes Banket, das einige Fuß hoch über dem gewöhnlichen Meeresspiegel liegt. Dieses ist der sogenannte Strand, und er verdankt seine Entstehung den beim Sturme überstürzenden Wellen. Die gelösten Wassermassen strömen von der See aus darüber hin, bis sie in Folge des ansteigenden Bodens und durch die starke Reibung gegen denselben ihre Geschwindigkeit verloren haben und nun auf der sanft geneigten Fläche wieder rückwärts fließen. An der Stelle, wo diese rücklaufenden Wellen den vom Meere aus ankommenden begegnen, bildet sich in der Dossirung ein sehr merklicher und seewärts steil abfallender Absatz. Doch das rückfließende Wasser kann in seiner Bewegung hier nicht vollständig gehemmt werden, weil sonst der Wasserspiegel vor dem Ufer sich immer mehr erhöhen müßte. Es fließt also, nachdem es plötzlich aufgehalten war, bald wieder unter dem nach dem Lande gekehrten Strome der neuen Welle dem Meere zu, und wo es der nächsten Welle begegnet, tritt wieder ein Stillstand ein und Sand und Kies lagern sich hier ab. So bilden sich vor dem Ufer mehrere Rücken in ziemlich gleichen Abständen von einander und parallel zum Strande. Man nennt diese an der Ostsee Riffe und glaubt gemeinhin, daß jedesmal drei derselben vorkommen. Doch kann man oft auch das vierte und unter Umständen selbst

das fünfte noch in größerer Tiefe unterscheiden. Die entgegengesetzten Strömungen kann man selbst bei mäßigem Wellenschlage nicht bemerken. Wirft man beim Baden einen specifisch leichten Körper, also ein Stückchen Holz auf das Wasser, so schwimmt dieses sehr schnell nach dem Ufer, läßt man aber ein bereits durchsäuertes Tuch, das also langsam zu Boden sinkt, fallen, so wird dieses sehr schnell von dem untern Strome seewärts getrieben.

Eine Eigenthümlichkeit der Meereswellen muß hier noch erwähnt werden, nämlich daß sie jedesmal von der Seeseite aus und nahe senkrecht das Ufer treffen. Sie bewegen sich also in Richtungen, welche zuweilen sehr stark von der des Windes abweichen, und an kleineren Inseln sogar derselben entgegengesetzt sind. Wenn ein heftiger Wind vom Lande dem Meere zugekehrt ist, so bleibt die Wasseroberfläche nächst dem Ufer ganz ruhig, indem sie durch das Ufer geschützt ist. Erst in einiger Entfernung bilden sich kleine Wellen, die seewärts größer werden. Wenn das Ufer aber auch so niedrig ist, daß es keinen Schutz gewährt, so kann ein starker Wellenschlag nicht plötzlich entstehen. Die Schwingungen der Wasserkörner sind, ehe die regelmäßigen Wellen sich gebildet haben, nicht in Uebereinstimmung mit einander, und wenn, wie in diesem Falle, in der Richtung des Windes die Tiefe zunimmt, so genügt der Stoß des kürzeren Fadens nicht, um dem dahinter stehenden längeren die entsprechende Bewegung mitzutheilen.

Ist die Richtung des Windes dem Ufer parallel, so laufen die Wellen dennoch nahe rechtwinklig gegen das Ufer. Dieses erklärt sich durch die Eigenthümlichkeit, daß die Geschwindigkeit der Wellen mit der Wassertiefe abnimmt, und immer um so geringer wird, je kleiner jene ist. Hierdurch verändert der Kamm und sonach auch die Bewegung der Welle die Richtung, sobald sie sich seitwärts über den ansteigenden Grund ausdehnt. Man sieht dieses sehr deutlich, sobald man auf einem hohen Ufer steht. Die auflaufenden Wellen sind keineswegs auf dem flachen Wasser in der Nähe des Ufers entstanden, die starke Bewegung hat sich vielmehr in der offenen See ausgebildet, und indem das zur Seite befindliche wenig bewegte Wasser hierdurch mit fortgerissen wird, so kehrt sich die Welle in dem Theile, der nicht mehr die hinreichende Tiefe findet, dieser untiefen Stelle, also dem Ufer zu.

Hat das Ufer nur geringe Ausdehnung, oder begrenzt es nur

eine kleine Insel, so kann bei heftigem Sturme durch diese die Wellenbewegung nirgend unterbrochen oder das Wasser irgend wo beruhigt werden. Diese Bewegung ist aber überall dem Ufer zugekehrt. Die vorüberlaufenden Wellen verändern aus dem angeführten Grunde ihre Richtung und zwar geschieht dieses an der vom Winde abgekehrten Seite ganz vollständig, so daß sie hier dem Winde entgegen treten. Man darf indessen nicht annehmen, daß es in einiger Entfernung eine Stelle giebt, von wo aus die Wellen ganz entschieden nach der einen und der andern Richtung, also theils vor dem Winde und theils demselben entgegen laufen. Der Uebergang wird vielmehr durch die verschiedenen gleichzeitig auftretenden Wellensysteme ohne eine wahrnehmbare scharfe Begrenzung vermittelt.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Wellen gehe ich zur nähern Erklärung derselben über. Wenn auch vielfache Einzelheiten die Regelmäßigkeit der Erscheinung unterbrechen, so tritt diese doch jedesmal in den wesentlichsten Theilen so übereinstimmend auf, daß man ihre Abhängigkeit von gewissen Gesetzen nicht bezweifeln kann. Diese Gesetze können nur die allgemeinen dynamischen, oder speciell die hydrodynamischen sein. Ich werde indessen die letzten nicht zum Grunde legen, vielmehr die ersten benutzen, und die Bedingungen, durch deren Einführung jene von diesen sich unterscheiden, besonders betrachten. Diese Bedingungen sind die der Continuität, sie sind also rein geometrisch. Das Wasser bleibt auch während der Wellen-Bewegung eine Masse, die im Innern sich nicht trennt, und es kann darin nicht der geringste freie Raum entstehn, den es nicht vollständig erfüllt. Andererseits ist seine Elasticität, wenn sie auch durch sehr genaue Messungen im gewissen Grade erwiesen ist, dennoch so unbedeutend, daß sie bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden darf. Es muß also die Bedingung eingeführt werden, daß in allen Perioden der Wellen-Bewegung der ganze innere Raum der Masse vollständig angefüllt bleibt, auch an keiner Stelle Ueberfüllung eintritt. Die genaueste Berücksichtigung dieser Bedingung ist vorzugsweise maassgebend, und zwar muß sie bei Wellen von meßbarer und endlicher Höhe noch zutreffen, denn bei Voraussetzung unendlich kleiner Wellen entzieht sie sich der Betrachtung.

Unter diesem Gesichtspunkte, und ganz abgesehen von den dy-

anischen Gesetzen, lassen sich schon manche höchst wichtige Einheiten der Erscheinung erkennen, und hierdurch vereinfacht sich die Untersuchung. Alsdann muß aber geprüft werden, ob und unter welchen besondern Bedingungen die dynamischen Gesetze den Eintritt derjenigen Bewegungen gestatten, auf welche die geometrische Betrachtung führte. Es ist noch darauf aufmerksam zu machen, daß auch solche Bewegungen möglich sind und ohne Zweifel wirklich vorkommen, wobei ein starker Verlust an lebendiger Kraft eintritt, die sich also nur in dem Falle dauernd erhalten können, wenn dieser Verlust durch neue äußere Anregung immer ersetzt wird. Diese stete Anregung erfolgt in der Natur durch den Wind. Mit dem Aufhören des Windes hört auf Wasserflächen von geringer Tiefe auch der Wellenschlag jedesmal gleichzeitig auf.

§. 2.

Wellen auf Wasserflächen von unendlicher Tiefe.

Wenn nach den vorstehend mitgetheilten Erfahrungen die Wellen-Bewegung dadurch entsteht, daß die einzelnen Theile der Wassermasse gewisse geschlossene Bahnen durchlaufen, so läßt sich der Zusammenhang zwischen diesen Bewegungen leicht nachweisen.*) Die Bahn, welche ein Wassertheilchen der Oberfläche durchläuft, messe man durch rechtwinklige Coordinaten, deren Anfangspunkte in Mittelpunkte der Bahn liegen, oder falls die Bahn keine symmetrische Figur sein sollte, in irgend einem Punkte, der sich jedoch lothrecht unter dem obern Scheitel der Bahn und innerhalb der letzteren befindet. Die Zeit werde von dem Momente ab gezählt, zu welchem das Wassertheilchen in dem obern Scheitel seiner Bahn sich befand, es also zugleich auch den obern Scheitel der Welle bildete. In diesem Stande war die lothrechte Ordinate ein Maximum und die horizontale Abscisse gleich Null. Nach der Zeit t sei das Wassertheilchen in denjenigen Punkt der Bahn gelangt, der durch die Ordinate y und die Abscisse x gegeben ist. In dieser Zeit hat aber die Welle selbst, oder ihr Scheitel einen gewissen Weg, und

*) Die Untersuchungen in diesem und den beiden folgenden Paragraphen sind ausführlicher mitgetheilt in meiner Abhandlung „Ueber Wellen auf Gewässern von gleichmäßiger Tiefe“ in den Abhandlungen der Königlichen Academie der Wissenschaften zu Berlin. 1861.

zwar in derselben Richtung zurückgelegt, in der das Wassertheilchen sich bewegte, als es sich im obern Scheitel seiner Bahn befand. Die Geschwindigkeit der Welle ist jedenfalls constant, insofern die Wassertiefe und andre Umstände, die vielleicht darauf Einfluß haben, überall dieselben sind. Diese Geschwindigkeit sei c . Der Scheitel der Welle hat sonach in der Zeit t den Weg ct zurückgelegt, oder die horizontale Entfernung des in Rede stehenden Punktes der Bahn vom Scheitel der Welle ist nunmehr $ct - x$. Bestimmt man die Wellenlinie, die in der Oberfläche des Wassers sich bildet, wieder durch rechtwinklige Coordinaten x' und y' , deren gemeinschaftlicher Anfangspunkt sich lothrecht unter dem gegenwärtigen Scheitel der Welle und in derselben Höhe befindet, in der er für die Ordinaten jener Bahn angenommen wurde, so hat man

$$x' = ct - x$$

$$y' = y$$

Da x' in der entgegengesetzten Richtung von x zählt, so haben die Differenziale dx und dx' auch entgegengesetzte Zeichen.

Dieses bezog sich auf die Oberfläche des Wassers, es gilt aber auch für jedes im Innern befindliche Wassertheilchen. Wenn ein solches eine gewisse geschlossene Bahn durchläuft, so bildet es gleichfalls eine Welle, die sich sichtbar darstellen würde, wenn der darüber befindliche Theil der Wassermasse entfernt wäre. Man denke nun eine vertikale Ebene werde mit derselben Geschwindigkeit, mit der die Welle sich bewegt, und in gleicher Richtung durch das Wasser gezogen, und jedes einzelne Theilchen eines Wasserfadens hinterlasse auf dieser Ebene in jedem Momente einen gewissen Eindruck an der Stelle, wo es dieselbe berührte, oder es zeichne den Weg, den es relativ gegen diese Ebene zurücklegte, so wird letztere nach einer vollen Wellenperiode die Zeichnung aller Wellenlinien enthalten, welche die unter einander befindlichen Wassertheilchen bilden. Diese Wellenlinien theilen die ganze Ebene in gewisse übereinander liegende Schichten ein, und jede derselben wird nach und nach von dem betreffenden Theile des Wasserfadens gefüllt. Indem die Anfüllung ganz vollständig sein muß, so läßt die Dicke jeder Schicht zugleich auf die relative Geschwindigkeit des Wassertheilchens an jeder Stelle schließen. Als der obere Scheitel verzeichnet wurde, bewegte sich das Wassertheilchen in derselben Richtung, in der die Ebene sich fortschiebt, für den untern Scheitel in der entgegenge-

setzten, daher ist die relative Bewegung im ersten Falle kleiner, als im letzten, und insofern die Dicke der Schicht immer gleich ist dem Quotient der Masse dieses Wassertheilchens dividirt durch dessen relative Geschwindigkeit, so ist die Dicke der Schicht im obern Scheitel der Welle grösser, als im untern. Hieraus ergibt sich schon, wie bei der vorausgesetzten Bewegung der einzelnen Theilchen und zwar ganz in Uebereinstimmung mit der Bedingung, daß der innere Raum jedesmal vollständig gefüllt sein muß, die Wassermasse sich stellenweise hebt und stellenweise senkt, also die Wellenbildung erfolgt.

Eine wichtige Frage ist es nun, ob bei allen diesen, in der beschriebenen Art dargestellten Wellenlinien die Scheitel zusammentreffen, also lothrecht unter einander liegen. Nach dem oben angeführten Versuche scheint die Erfahrung dieses zu bestätigen. Geschieht dieses aber wirklich, so folgt daraus wieder, daß auch die verschiedenen unter einander gebildeten Wellen mit gleicher Geschwindigkeit fortschreiten. Plötzliche Abweichungen können nirgend vorkommen, weil sonst die Bedingung der Continuität nicht erfüllt wäre, und einzelne leere Räume und zugleich solche Stellen sich bilden müßten, wo das nächste Wassertheilchen noch in den Raum einträte, den das erste schon vollständig anfüllt. Aber auch die allmählichen Uebergänge, die durch unendlich kleine Abweichungen vermittelt werden, würden nur möglich sein, wenn die Geschwindigkeiten, mit denen die unter einander befindlichen Wassertheilchen ihre Bahnen durchlaufen, wesentlich verschieden wären und in endlichen Abständen immer andere Wassertheilchen mit einander in Berührung brächten, was der Wahrnehmung widerspricht, daß bei sehr großen Tiefen der Wellenschlag nach dem Aufhören des Sturmes noch lange anhält, also keine namhafte Reibung der Wassertheilchen unter sich statt finden kann. Ausserdem leuchtet ein, daß nach der letzten Voraussetzung die Anschwellungen der über einander liegenden Schichten sich wenigstens theilweise aufheben müßten und sonach die Wellenerhebung der Oberfläche nicht in der einfachsten Art eintreten würde.

Obwohl dieser Zweifel sich nicht durch directe Beweisführung vollständig beseitigen läßt, so ist die Annahme übereinstimmender Bewegungen in allen unter einander befindlichen Wassertheilchen, welche denselben Wasserfaden bilden, gewiß die plausibelste. Ich

führe sie also ein, und untersuche, ob sie Resultate giebt, die sich sowol an die geometrischen, wie an die dynamischen Gesetze anschliessen. Schliesslich werde ich die auf solche Weise dargestellten Gesetze der Wellenbewegung mit verschiedenen Beobachtungen vergleichen, und wenn sie mit diesen soweit übereinstimmen, als die Sicherheit der Messungen gestattet, so dürfte der Zweifel vollständig gelöst sein.

Nach allen Erfahrungen behält das Wasser selbst unter dem stärksten Drucke noch seine volle Beweglichkeit, und seine Geschwindigkeit oder die Aenderung derselben wird nur durch die Differenz der Pressungen von der einen und der andern Seite bedingt, ohne dass die absolute Grösse derselben hierauf irgend welchen Einfluss hat. Es ist demnach denkbar, dass die Bewegung der Wassertheilchen in sehr grosser Tiefe noch denselben Gesetzen folgt, und dass diese Theilchen ähnliche Bahnen in entsprechender Weise durchlaufen, wie die in der Oberfläche befindlichen. Dieses geschieht wirklich, wenn 1) jede der erwähnten dünnen Schichten während der Wellenbewegung an allen Stellen von den darüber liegenden Schichten gleich stark gedrückt wird, und wenn 2) die horizontalen, wie die vertikalen Durchmesser der Bahnen, welche die verschiedenen Theilchen desselben Fadens durchlaufen, bei zunehmender Tiefe in gleichem Verhältnisse immer kleiner, und bei der hier vorausgesetzten unendlichen Tiefe zuletzt gleich Null werden. Die Bahnen würden sich also endlich auf Punkte zusammenziehen, oder die aufrecht stehenden Wasserfäden würden in ihren Wurzeln unbeweglich bleiben, und auf dem Grunde nicht hin- und hergeschoben werden.

Aus dem weitem Verfolg der Untersuchung wird sich ergeben, dass beide Bedingungen in aller Schärfe erfüllt werden. Der Beweis dafür lässt sich aber nur geben, wenn man die Bewegungen schon kennt. Es ist zunächst zu ermitteln, welche Bewegungen unter diesen Bedingungen eintreten können.

Man setze also voraus, dass die Bahnen, in welchen die einzelnen Elemente desselben Wasserfadens sich bewegen, ähnliche Figuren sind und übereinstimmend durchlaufen werden. Hiernach sind nicht nur die Umlaufszeiten gleich, und alle Theile des Fadens treten gleichzeitig in die obern und untern Scheitel, sondern wenn man die Bahnen nach Polar-Coordinationen bestimmt, und den Winkel, den der

Der Radius Vector mit dem Lothe macht, φ nennt, so sind in jedem Moment diese Winkel φ in allen zu demselben Faden gehörigen Bahnen gleich groß.

Ein sehr kleiner Theil eines Wasserfadens oder ein Element derselben sei nach Fig. 2 von den Punkten A und a begrenzt, diese Punkte liegen also in demselben Faden, und sie durchlaufen die Bahnen AK und ak . Nach t Secunden sind diese Punkte von A und a nach K und k gerückt. Die beiden betreffenden Radien Vectors AK und ak bilden alsdann mit dem durch den Scheitel gezogenen Lothe die gleichen Winkel φ . Der Radius Vector der obern Bahn sei gleich ρ , der der untern $\rho - \delta\rho$, indem durch δ die Abweichungen der beiden Bahnen, durch d dagegen die Differenziale bezeichnet werden, die sich auf die im Laufe der Zeit eintretenden Veränderungen beziehen. Der Abstand der beiden Mittelpunkte der Polar-Coordinationen oder Mm sei gleich δz . Nach Verlauf derselben Zeit sind die Scheitelpunkte der Wellenlinien nach B und b gerückt.

$$AB = ab = ct$$

Indem c die constante Geschwindigkeit der Welle bedeutet. Die betreffenden Wellenlinien, die in derselben Zeit auf jener mit der Geschwindigkeit der Welle fortgezogenen Ebene durch die Berührung mit beiden Punkten A und a sich dargestellt haben, seien BK und bk . Zieht man nun durch den Punkt M die Horizontale MG und zählt man von dieser die Ordinaten aufwärts, so sind nach Verlauf der Zeit t die Coordinaten des Punktes K

$$x = HM = \rho \sin \varphi$$

$$y = HK = \rho \cos \varphi$$

und in Bezug auf die Wellenlinie

$$x' = HG = ct - \rho \sin \varphi$$

$$y' = HK = \rho \cos \varphi.$$

Die entsprechenden Gleichungen für die untere Wellenlinie lassen sich gleichfalls leicht darstellen, doch kann man aus der Vergleichung der beiden betreffenden Werthe für y' nicht unmittelbar die Dicke der Wasserschicht herleiten, weil die zu demselben Winkel φ gehörigen Werthe x' nicht gleich groß sind, wie sich auch aus der Figur ergibt. Die Kenntniss des vertikalen Abstandes beider Wellenlinien von einander ist aber nothwendig, um die geometrische Bedingung, oder die der Continuität, einzuführen.

Man betrachte die Aenderungen der Erscheinung, wie solche

in sehr kleinen, aber gleich großen Zeitintervallen eintreten. Das Differenzial dt ist daher constant. Die Aenderungen des Winkels φ kennt man nicht, noch auch die Beziehung, in der φ zu t und ϱ steht. Indem aber die sämmtlichen nach und nach eintretenden Aenderungen in gleichen Zeitintervallen gemessen werden, so bezeichnet die Gröfse dx' auch die Vergrößerung des horizontalen Abstandes des Wellenscheitels von dem in Betracht gezogenen Punkte k , wie solche in der constanten Zeit dt erfolgt. In jedem Zeitelemente entfernt sich also das untersuchte Wassertheilchen von dem Wellenscheitel um dx' und es muß jedesmal den entsprechenden Theil der dünnen Schicht ausfüllen. Wenn also, wie hier immer geschieht, die Breite der untersuchten Wassermasse oder der Welle gleich Eins gesetzt wird, so muß die Fläche des kleinen Theiles der Schicht, oder nach der Figur

$$JK \cdot dx' = df$$

eine constante Gröfse sein. Es kommt zunächst darauf an, die Höhe JK zu finden.

Man setze den Winkel, den die obere Wellenlinie im Punkte A mit dem Lothe macht, gleich ψ . Alsdann wird auch die untere Wellenlinie, die nach der Voraussetzung der ersten unendlich nahe liegt, in dem Punkte J denselben Winkel mit dem Lothe bilden. In dem kleinen Dreiecke kCJ , dessen Seite kJ man als gerade Linie ansehen kann, ist sonach der Winkel

$$CJk = \pi - \psi$$

ferner

$$kCJ = \varphi$$

und

$$kC = \delta \varrho$$

Hieraus ergibt sich

$$CJ = \frac{\sin(\psi - \varphi)}{\sin \psi} \cdot \delta \varrho$$

und wenn man den Abstand der beiden Punkte M und m gleich δ setzt,

$$KJ = KC + CJ$$

$$KJ = \delta z + \frac{\sin(\psi - \varphi)}{\sin \psi} \cdot \delta \varrho$$

Man hat

$$\sin \psi = -\frac{dx'}{ds'}$$

$$\cos \psi = \frac{dy'}{ds'}$$

wo ds' das Bogenelement der Wellenlinie bezeichnet. $\sin \psi$ ist abnegativ, weil dx' der Bewegung der Welle entgegengesetzt ist. Ma

Hiernach

$$KJ = \delta z + \cos \varphi \cdot \delta \varrho + \sin \varphi \cdot \frac{dy'}{dx'} \cdot \delta \varrho$$

und wenn man dieses mit dx' multiplicirt, so folgt

$$df = (\delta z + \cos \varphi \cdot \delta \varrho) dx' + \sin \varphi \cdot \delta \varrho \cdot dy'$$

Wenn nun nach dem Vorstehenden, wenn φ und ϱ als variabel angesehen werden,

$$dx' = c dt - \varrho \cos \varphi \cdot d\varphi - \sin \varphi \cdot d\varrho$$

$$dy' = -\varrho \sin \varphi \cdot d\varphi + \cos \varphi \cdot d\varrho$$

ergibt sich endlich

$$df = (c \cdot \delta z \cdot dt - \varrho \cdot \delta \varrho \cdot d\varphi) + (c \cdot \delta \varrho \cdot dt - \varrho \cdot \delta z \cdot d\varphi) \cos \varphi - \delta z \cdot d\varrho \cdot \sin \varphi$$

Das Flächenelement soll nach der geometrischen Bedingung für alle Werthe von φ denselben Werth behalten, es muß daher von $\sin \varphi$ und $\cos \varphi$ ganz unabhängig sein, oder die Coefficienten dieser beiden trigonometrischen Functionen müssen an sich gleich Null sein. Man hat also zunächst

$$\delta z \cdot d\varrho = 0$$

Der erste Factor kann aber nicht gleich Null sein, denn wenn dies der Fall wäre, so würden beide Punkte concentrische Curven beschreiben, also die entsprechenden Wellenlinien müßten sich kreuzen. Hiernach bleibt nur übrig, daß

$$d\varrho = 0$$

oder ϱ eine constante Größe ist. Die Bahn, in der das untersuchte Wassertheilchen A sich bewegt, ist also ein Kreis. Da aber keine bestimmte Tiefe für dieses Theilchen vorausgesetzt war, so hat das Resultat ganz allgemeine Gültigkeit und alle Wassertheilchen bewegen sich in kreisförmigen Bahnen.

Sodann ist auch der Coefficient von $\cos \varphi$ gleich Null

$$c \cdot \delta \varrho \cdot dt - \varrho \cdot \delta z \cdot d\varphi = 0$$

$$\text{also} \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{c \cdot \delta \varrho}{\varrho \cdot \delta z}$$

Der Ausdruck auf der rechten Seite des Gleichheitszeichens ist aber für jedes einzelne Wassertheilchen constant oder von dem Winkel φ und der Zeit t unabhängig, also ist auch $\frac{d\varphi}{dt}$ eine constante Größe.

Die geometrische Bedingung hat also schon zu der wichtigen Folgerung geführt, daß die vorausgesetzte Bewegung nur möglich ist, wenn jedes einzelne Wassertheilchen eine kreisförmige Bahn mit constanter Geschwindigkeit durchläuft. Der obige Ausdruck für df

verdient indessen noch in Bezug auf das allein übrigbleibende ~~erste~~ Glied eine nähere Betrachtung.

$$df = c \cdot \delta z \cdot dt - \varrho \cdot \delta \varrho \cdot d\varphi$$

Die Bedeutung dieses Ausdruckes ergibt sich, wenn man die Flächen berechnet, die von den beiden Wellenlinien begrenzt werden. Der leichten Rechnung wegen führe man aber für die constante Angular-Geschwindigkeit eine andere Bezeichnung ein, nämlich

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r}$$

Die Bedeutung dieser neuen Constante r ist an sich klar, sie bezeichnet nämlich den Radius derjenigen Bahn, in welchem das Wassertheilchen mit der Geschwindigkeit der Welle, die gleich c ist, sich bewegt. Hieraus ergibt sich, daß die Länge einer Welle von einem obern Scheitel bis zum nächsten gemessen gleich $2r\pi$ ist, weil beim jedesmaligen Vorübergange eines solchen Wellenscheitels auch dasselbe Wassertheilchen im obern Scheitel seiner Bahn sich befinden muß.

Wenn man die Ordinaten y' von der durch den untern Scheitel der Wellenlinie gezogenen Horizontalen aufwärts mißt, so ist

$$y' = (1 + \cos \varphi) \varrho$$

und

$$dx' = (r - \varrho \cdot \cos \varphi) d\varphi$$

$$\int y' dx' = (r\varrho - \frac{1}{2}\varrho^2) \varphi + \varrho(r - \varrho) \sin \varphi - \frac{1}{2}\varrho^2 \sin 2\varphi$$

und zwischen den Grenzen $\varphi = 0$ und $\varphi = 2\pi$ oder für eine Wellenlänge

$$\int y' dx' = (2r\varrho - \varrho^2) \pi$$

Die Länge der Welle ist aber $2r\pi$, daher ist die Wellenlinie von der angenommenen horizontalen durchschnittlich entfernt um

$$\varrho - \frac{\varrho^2}{2r}$$

sie liegt also durchschnittlich unter dem Mittelpunkte der obern Bahn um die Größe

$$\frac{\varrho^2}{2r}$$

In gleicher Art liegt die zweite Wellenlinie, die zur Bahn vom Radius $\varrho - \delta\varrho$ gehört, durchschnittlich um

$$\frac{\varrho^2 - 2 \cdot \varrho \cdot \delta\varrho}{2r}$$

unter dem Mittelpunkte dieser Bahn, und da der erste Mittelpunkt

um δz höher liegt, als der zweite, so ist der mittlere Höhenunterschied beider Wellenlinien gleich

$$\delta z = \frac{\rho}{r} \delta \varphi$$

Der mittlere Werth von dx' ist aber

$$c \cdot dt = r \cdot d\varphi$$

also die elementare Fläche durchschnittlich

$$df = c \cdot \delta z \cdot dt = \rho \cdot \delta \varphi \cdot d\varphi$$

daher mit dem obigen Ausdrücke genau übereinstimmend. Dieser Werth ist aber nicht nur der durchschnittliche, sondern der dauernde, der in Folge der geometrischen Bedingung sich nicht verändern darf.

Die erwähnte Bedingung führt noch zu einem andern höchst wichtigen Resultate. Die so eben untersuchten kleinen Flächen lassen sich für den obern und untern Scheitel der Wellenlinie sehr leicht bestimmen; nennt man nämlich Δ die Dicke der Schicht, so ist

$$\text{für } \varphi = 0, \Delta = \delta z + \delta \varphi \text{ und } dx' = (r - \rho) d\varphi$$

$$\text{für } \varphi = \pi, \Delta = \delta z - \delta \varphi \text{ und } dx' = (r + \rho) d\varphi$$

$$\text{also } df = (\delta z + \delta \varphi)(r - \rho) d\varphi = (\delta z - \delta \varphi)(r + \rho) d\varphi$$

Hieraus ergibt sich

$$r \delta \varphi = \rho \delta z$$

Man hat also eine sehr einfache Differenzial-Gleichung zwischen ρ und z gebildet. Die Gröfse z darf man indessen nicht von unten nach oben zählen, weil ihr Anfangspunkt sonst in die unendliche Tiefe fallen, sie also unendlich groß sein würde. Man muß sie daher umgekehrt von oben nach unten messen und es empfiehlt sich, ihren Anfangspunkt in den Mittelpunkt derjenigen Bahn zu legen, deren Radius gleich r ist, die also die Wellenlinie als gewöhnliche Cycloide darstellt. Hiernach wird δz negativ, und man hat

$$\delta z = -r \frac{\delta \rho}{\rho}$$

$$\text{folglich} \quad z = -r \cdot \log \cdot \text{nat} \cdot \rho + \text{Const.}$$

Für $z = 0$ ist aber $\rho = r$, daher

$$z = r \cdot \log \cdot \text{nat} \cdot \frac{r}{\rho}$$

oder

$$\rho = r \cdot e^{-\frac{z}{r}}$$

Es ergibt sich hieraus, daß die Radien der unter einander liegenden kreisförmigen Bahnen immer kleiner, jedoch erst in unendlicher Tiefe gleich Null werden. Die zweite der obigen Vor-

aussetzungen, deren Richtigkeit nachträglich bewiesen werden sollte, ist also bereits durch die geometrische Betrachtung erwiesen.

Es kommt nunmehr darauf an, zu untersuchen, ob und unter welchen Bedingungen die vorstehend dargestellten Bewegungen den dynamischen Gesetzen entsprechen.

Jedes einzelne Wassertheilchen soll mit der constanten Geschwindigkeit $\varrho \frac{d\varphi}{dt}$ eine kreisförmige Bahn vom Radius ϱ durchlaufen. Dieses ist nur möglich, wenn alle einwirkende Kräfte mit Einschluss der Centrifugal-Kraft sich gegenseitig aufheben. Diese Kräfte sind: die Schwere, die Centrifugal-Kraft und der Druck, den die nächst darunter belegene Wasserschicht auf das untersuchte Theilchen ausübt. Es ist indessen nicht nöthig, auf die beschleunigenden Kräfte zurückzugehen, vielmehr genügt es, die bewegenden Kräfte oder die Pressungen unmittelbar in Betracht zu ziehen.

Die Schwere wirkt vertikal abwärts. Das Gewicht des Wassertheilchens sei gleich dm .

Die Centrifugal-Kraft wirkt in der Richtung des Radius, also unter dem Winkel φ gegen das Loth. Sie ist gleich

$$\begin{aligned} & \frac{\varrho^2 \cdot d\varphi^2}{2g\varrho \cdot dt^2} dm \\ &= \frac{\varrho c^2}{2gr^2} dm \end{aligned}$$

Zerlegt man dieselbe, so ist ihre Wirkung in der vertikalen Richtung, im ersten Quadranten der Schwere entgegengesetzt

$$= \frac{\varrho c^2}{2gr^2} \cos \varphi \cdot dm$$

und in der horizontalen Richtung, übereinstimmend mit der Bewegung der Welle

$$= \frac{\varrho c^2}{2gr^2} \sin \varphi \cdot dm$$

Der Druck der darunter befindlichen Wasserschicht, den ich vorläufig mit D bezeichne, ist durch die Bewegung derselben bedingt. Ruht ein Körper auf einer Unterlage, so drückt er dieselbe mit seinem vollen Gewichte, wenn sie keine vertikale Bewegung hat, oder wenn sie mit constanter Geschwindigkeit sich hebt oder senkt. Auch durch horizontale Bewegungen wird der Druck nicht verändert. Ist dagegen die vertikale Geschwindigkeit der Unterlage beschleunigt oder verzögert, so übt der Körper den

einen Druck aus, der gleich ist

$$\left(1 - \frac{d^2 y}{2g \cdot dt^2}\right) dm$$

Im vorliegenden Falle und zwar wieder für den ersten Quadranten der Bahn ist $d^2 y$ an sich negativ, da aber y aufwärts, also der Richtung der Schwere entgegen gemessen wird, so ändert sich nicht das Zeichen des zweiten Gliedes in der Parenthese. Wäre dm ein fester Körper, so würde dieser Druck lothrecht wirken, da der Körper aber flüssig ist, der Druck sich also in allen Richtungen äußert, so ist er normal gegen die Oberfläche der Unterlage gerichtet, und vermehrt sich nach Maaßgabe der größern Ausdehnung derselben, so daß

$$D = \left(1 - \frac{d^2 y}{2g \cdot dt^2}\right) \frac{ds'}{dx'} \cdot dm$$

Indem die Pressungen der darüber befindlichen Schichten hierbei gar nicht berücksichtigt sind, so bezieht sich dieser Ausdruck vorläufig nur auf die in der Oberfläche befindliche Wasserschicht, und es bleibt der spätern Untersuchung vorbehalten, ob und welche Aenderungen in den tiefer belegenen Schichten eintreten. Der Druck, den das einzelne Wassertheilchen der obern Schicht auf die darunter befindliche Masse ausübt, ist aber eben so groß, wie der Gegen-
druck, den sie von der letzteren erfährt. Dieser ist für den ersten Quadranten der Bahn schräge aufwärts und zwar der Bewegung der Welle entgegengerichtet.

Man führe nun für $d^2 y$, dt^2 und dx' deren Werthe, durch φ ausgedrückt, ein und nehme darauf Rücksicht, daß das Zeichen von $d^2 y$ schon früher in Betracht gezogen ist, alsdann findet man

$$D = \frac{(2gr^2 - \rho c^2 \cos \varphi) ds'}{2gr^2 (r - \rho \cos \varphi) d\varphi} dm$$

folglich den vertikal aufwärts gerichteten Druck

$$\frac{dx'}{ds'} D = \frac{2gr^2 - \rho c^2 \cos \varphi}{2gr^2} dm$$

und den horizontalen Druck

$$\frac{dy'}{ds'} D = \frac{(2gr^2 - \rho c^2 \cos \varphi) \rho \sin \varphi}{2gr^2 (r - \rho \cos \varphi)} dm$$

Hiernach sind die drei verschiedenen bewegenden Kräfte oder Pressungen entwickelt, welche auf die einzelnen Wassertheilchen der Oberfläche einwirken, und sich gegenseitig aufheben müssen, wenn die Bewegungen, welche die geometrische Betrachtung ergab,

wirklich stattfinden können. Die vorstehende Untersuchung ist noch insofern einseitig geführt, als sie sich allein auf den ersten Quadranten der Bahn bezog und die Richtungen der Kräfte nur in der Art in Rechnung gestellt wurden, wie sie sich in diesem Falle ergaben. Wenn man indessen irgend einen andern Quadranten wählt, so überzeugt man sich leicht, daß durch die Aenderung der Zeichen die Hauptresultate, zu denen ich nunmehr übergehe, nicht geändert werden, vielmehr die Summen in ganz gleichen Ausdrücken sich darstellen.

Die kreisförmige und gleichförmige Bewegung kann nur stattfinden, wenn ganz unabhängig von dem Winkel φ die Summe der vertikalen Pressungen, wie auch die der horizontalen gleich Null ist.

Die Summe der vertikalen Pressungen ist nach den vorstehenden Entwicklungen und zwar aufwärts gezählt

$$- dm + \frac{\rho c^2}{2gr^2} \cos \varphi \cdot dm + \frac{2gr^2 - \rho c^2 \cos \varphi}{2gr^2} dm$$

also an sich schon gleich Null.

Die Summe der horizontalen Kräfte in der Richtung der Bewegung der Welle ist dagegen

$$\frac{\rho c^2}{2gr^2} \sin \varphi \cdot dm - \frac{2gr^2 - \rho c^2 \cos \varphi}{2gr^2 (r - \rho \cos \varphi)} \rho \sin \varphi \cdot dm$$

Setzt man diesen Ausdruck gleich Null, so folgt

$$c^2 = 2gr$$

Dieses ist also die Bedingung, unter der die mechanischen Gesetze jene Bewegung gestatten.

Es kommt nun darauf an, zu untersuchen, in wiefern dieses Resultat noch auf die unter der Oberfläche liegenden Schichten Geltung hat. Dieses geschieht offenbar, sobald es sich herausstellt, daß die oberste Schicht und jede folgende in ihrer ganzen Ausdehnung einen durchaus gleichen Druck auf die nächst darunter befindliche ausübt, also auf die Bewegung derselben keinen Einfluß hat.

Der Druck des in der Oberfläche befindlichen Theilchens dm wirkte auf die Länge ds' mit der Kraft D , also auf die Längeneinheit ist seine Wirkung

$$\frac{D}{ds'} = \frac{2gr^2 - \rho c^2 \cos \varphi}{2gr^2 (r - \rho \cos \varphi)} \frac{dm}{d\varphi}$$

und wenn man für c^2 den so eben gefundenen Werth $2gr$ einführt, ergibt sich

$$\frac{D}{ds'} = \frac{dm}{r \cdot d\varphi}$$

Die Längeneinheit der nächst unter der Oberfläche liegenden Schicht erleidet daher einen Druck, der vom Winkel φ ganz unabhängig, also in der ganzen Wellenlänge derselbe ist. Der Druck der obern Schicht übt also keinen Einfluss auf die Bewegung der nächstfolgenden aus, und diese bewegt sich eben so frei, als wenn sie die obere wäre. Dasselbe tritt bei der dritten Schicht und jeder folgenden ein, und es ergibt sich hieraus, daß die gefundenen Gesetze für die ganze Wassermasse bis zur vorausgesetzten unendlichen Tiefe herab volle Gültigkeit haben. Hierdurch ist aber auch die Richtigkeit der ersten jener beiden Voraussetzungen, die ich vorläufig einführte, erwiesen, daß nämlich jede einzelne Wasserschicht, die sich zunächst unter irgend einer Wellenlinie befindet, von der darüber befindlichen bewegten Wassermasse in ihrer ganzen Ausdehnung gleichmäßig gedrückt wird.

Hiernach erfolgt die Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe in höchst einfacher Weise. Jedes einzelne Wassertheilchen durchläuft mit constanter Geschwindigkeit eine kreisförmige Bahn. Die Angular-Geschwindigkeiten der sämtlichen Wassertheilchen sind gleich groß, die absoluten Geschwindigkeiten sind dagegen dem Radius der jedesmaligen Bahn proportional. Diese Radien stehn in einer gewissen Beziehung zu der Höhenlage des Mittelpunktes der Bahn, sie sind also bei gleicher Tiefe auch gleich groß, und verkleinern sich abwärts immer mehr, bis sie endlich in unendlicher Tiefe gleich Null werden, oder die Bahnen sich in Punkte zusammenziehen. Jene Wasserfäden bleiben also mit ihren Wurzeln an derselben Stelle des Meeresgrundes und neigen sich bei der Wellenbewegung nur hin und her.

Die in gleicher Tiefe befindlichen Wassertheilchen durchlaufen zwar gleiche Bahnen mit gleicher Geschwindigkeit, aber die Stellen, welche sie in denselben gleichzeitig einnehmen, sind verschieden. In der Richtung der Bewegung der Welle gezählt, ist der Centriwinkel, den das betreffende Theilchen in seiner Bahn gegen das Loth bildet, etwas kleiner, als er in der nächst zurückliegenden Bahn in demselben Zeitmomente ist. Die Curve, welche diese Theilchen in ihrer Verbindung darstellen, ist demnach eine Cycloide, und zwar jedesmal eine gestreckte. Sie könnte zwar auch eine ge-

wöhnliche Cycloïde sein, doch kommt dieses niemals vor. Eine überhöhte Cycloïde ist unmöglich, weil in diesem Falle die Bahnen je zwei zunächst liegender Theilchen in den obern Scheiteln sich durchkreuzen müßten.

Es dürfte sich empfehlen, die analytischen Ausdrücke, von denen die Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe abhängt, zusammenzustellen und zu vervollständigen. Die Bedeutung der darin vorkommenden Bezeichnungen ist folgende.

r ist der Radius des Kreises, von dem die Wellenlänge abhängt, und der die Welle als gewöhnliche Cycloïde darstellen würde. In gewisser Tiefe darunter gehören die kreisförmigen Bahnen zum Radius ϱ , diese Tiefen z werden zwischen den betreffenden Mittelpunkten gemessen, so daß sie von der Horizontalen, die durch die Mittelpunkte der mit r beschriebenen Bahnen gezogen ist, abwärts zählen. Ferner ist c die Geschwindigkeit der Welle, v die Geschwindigkeit eines Wassertheilchens, das die mit dem Radius ϱ beschriebene Bahn durchläuft, λ die Länge der Welle von einem obern Scheitel bis zum andern, und τ die Periode der Welle oder die Anzahl der Secunden, in der eine volle Welle an einem festen Punkte vorüberläuft. Endlich bezeichnet g den in der ersten Secunde durchlaufenen Raum eines frei fallenden Körpers (für Berlin ist $g=15,63245$ Rheinländische Fuß nach der Preussischen Maafsbestimmung) und e ist die Grundzahl des natürlichen Logarithmen-Systems.

Hiernach ist

$$\lambda = 2 r \pi$$

$$z = r \cdot \log . \text{nat} \frac{r}{\varrho}$$

$$\varrho = r \cdot e^{-\frac{z}{r}}$$

$$c = \sqrt{2 g r} = \sqrt{\frac{g \lambda}{\pi}}$$

$$\tau = \frac{\lambda}{c} = \sqrt{\frac{2 r}{g}} \cdot \pi = \sqrt{\frac{\lambda \pi}{g}}$$

$$v = \varrho \frac{c}{r}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r}$$

der letzte Ausdruck bezeichnet die Angular-Geschwindigkeit, die allen Wassertheilchen gemeinsam ist.

Um diese Bewegungen anschaulich zu machen, sind auf Taf. II

die Wege der einzelnen Wassertheilchen sowie auch die Formen und Veränderungen der Wasserfäden dargestellt. Fig. 9 zeigt die Bahnen, welche die zu demselben Wasserfaden gehörigen einzelnen Theilchen durchlaufen. Der oberste, größte Kreis ist mit dem willkürlich angenommenen Radius r beschrieben. Vom Mittelpunkte dieses Kreises ab werden die Tiefen z gemessen, die sich jedesmal bis zu dem Mittelpunkte des betreffenden Kreises erstrecken. Der zu dem letzteren gehörige Radius ρ ist nach der vorstehenden Formel berechnet. Es ergibt sich aus dieser Figur, wie schnell die Radien in der Nähe der Oberfläche kleiner werden, während sie in größerer Tiefe viel langsamer abnehmen.

Wenn nun, während alle diese Bahnen gleichmäfsig von den einzelnen Theilchen eines Wasserfadens durchlaufen werden, eine Ebene mit derselben Geschwindigkeit fortgezogen wird, mit der die Welle sich bewegt, so zeigt Fig. 10 die Wege, welche alle diese Wassertheilchen längs einer solchen Ebene beschreiben. Die oberste Linie, welche die gewöhnliche Cycloïde ist, kommt in der Wirklichkeit nie vor, aber auch die hier dargestellte nächste Wellenlinie zeigt sich wohl niemals, vielmehr sind die Wellen stets flacher. Die Abstände z sind in Figur 9 und 10 so gewählt worden, daß die zwischen je zwei Wellenlinien eingeschlossenen Flächen gleich groß sind.

Fig. 11 deutet die Richtungen an, in welchen die einzelnen Wassertheilchen in einer Welle sich bewegen, während die Richtung, in der die Welle fortschreitet, durch den größeren Pfeil angegeben ist. Man bemerkt, wie die Richtungen der Bewegungen im obern und im untern Scheitel einander entgegengesetzt sind und wie sie allmählig in einander übergehn. Besonders ergibt sich aber aus dieser Figur, wie sehr der Wind die Wellenbildung begünstigen und verstärken kann, wenn die Richtungen beider mit einander übereinstimmen. So lange die Geschwindigkeit des Windes noch größer ist, als die der Welle, so beschleunigt er im obern Scheitel, der seiner Einwirkung am meisten ausgesetzt ist, die horizontale Bewegung der hier befindlichen Wassertheilchen. Die ansteigende Fläche der hintern Böschung, und namentlich die obere Hälfte derselben trifft er gleichfalls, und drückt sie abwärts, wodurch er wieder die Bewegung der hier befindlichen Wassertheilchen befördert. Wo aber diese Bewegungen ihm entgegengesetzt sind, er

also dieselbe schwächen oder aufheben würde, da befindet sich die Oberfläche schon im Schutze der nachfolgenden Welle, sein Druck auf diese Theilchen bleibt also sehr geringe, oder kommt vielleicht gar nicht zur Wirksamkeit.

Fig. 12 zeigt die verschiedenen Stellungen, welche ein Wasserfaden beim Vorübergange einer Welle nach und nach einnimmt, und zwar ist derselbe so weit nach oben verlängert, daß er die gewöhnliche Cycloïde, also die obere Linie in Fig. 10 als Wellenlinie darstellen würde. So lange das Wasser sich in Ruhe befand, stand er senkrecht und zwar reichte er bis nahe an den Mittelpunkt des Kreises herauf, den sein oberes Ende beschreibt. Während der Wellenbewegung verlängert und verkürzt er sich abwechselnd und neigt sich nach vorn und nach hinten, wie die verschiedenen Linien der Figur angeben. Um seine Stellungen deutlicher erkennen zu lassen und um Verwechselungen vorzubeugen, sind die fünf Linien, welche den Faden auf seinem Rückgange zeigen, punktirt angegeben, die sämtlichen Linien bezeichnen aber nur die Mittellinien des Fadens ohne Rücksicht auf seine Breite, oder auf die Fläche, die er einnimmt.

Fig. 13 endlich zeigt die sämtlichen Wasserfäden, wie sie in demselben Zeitmomente in der ganzen Ausdehnung einer Welle sich gestalten, und wenn man davon absieht, daß diese Fäden eine unendlich kleine Breite oder Dicke haben, so ist jeder Faden durch die Fläche zwischen je zwei Linien angedeutet. Man bemerkt hier, daß die Fäden, welche den obern Scheitel der Welle bilden, in dem untern Theile der Zeichnung etwas schmaler sind, als diejenigen, die zum untern Scheitel gehören. Höchst auffallend giebt sich diese Verschiedenheit aber in der Nähe der Oberfläche zu erkennen. Die Figur mußte sogar mit einer gestreckten Cycloïde abgeschlossen werden, weil die Fäden sonst im obern Scheitel in scharfe Spitzen ausgelaufen und die Scheidungslinien zusammengefallen wären. Die hier dargestellten verschiedenen Fäden bezeichnen aber auch die verschiedenen Formen und Stellungen, welche derselbe Faden nach und nach einnimmt. Man denke eine Wellenlänge λ in soviel Theile getheilt, als die Periode der Welle τ Zeitelemente dt enthält. Und vor dem Beginne der Wellenbewegung, also zur Zeit, wo alle Fäden senkrecht standen und gleich lang, folglich auch gleich breit waren, seien sie durch lothrechte Scheidungslinien von einander getrennt

worden. Tritt alsdann die Wellenbewegung ein, so bleiben diese Fäden noch immer von einander getrennt und jeder einzelne behält sein ursprüngliches Volum, während er an die beiden benachbarten sich überall anschliesst. Wie er sich verlängert oder verkürzt, muß seine Breite in entsprechender Weise ab- oder zunehmen. Letzteres geschieht aber nicht gleichmäfsig in der ganzen Höhe, vielmehr tritt diese Veränderung vorzugsweise in der Nähe der Oberfläche ein. Die Breite jedes Fadens vor dem Eintritt der Wellenbewegung war gleich cdt . Nimmt man nun an, daß diese in Fig. 13 dargestellte Ebene, der Richtung der Wellenbewegung entgegen mit der Geschwindigkeit c fortgeschoben wird, so daß sie also in jedem Zeitelemente dt um die ursprüngliche Breite eines Fadens, also um cdt zurückgeht, so rückt derselbe Faden jedesmal an die Stelle, welche die Figur für den nächst folgenden zeigt, und die verschiedenen Stellungen und Verbreitungen oder Verengungen, die derselbe Faden nach und nach annimmt, kann man daher in dieser Figur erkennen. Die Figur umfaßt indessen keineswegs diese Veränderungen vollständig, vielmehr setzen sie sich noch weiter abwärts fort, obwohl sie hier immer geringer werden. Beim Vorübergange eines obern oder untern Wellenscheitels befindet sich die Mittellinie des Fadens an ihrer ursprünglichen Stelle und steht senkrecht. An allen zwischen liegenden Punkten rückt indessen der Fuß des Fadens, wie die Figur zeigt, nach der einen oder der andern Seite, und neigt sich zugleich vor- oder rückwärts, wie dieses sich auch aus Figur 12 ergibt.

Die vorstehende mitgetheilte Wellentheorie rührt von Franz Gerstner in Prag her, der sie bereits vor 60 Jahren bekannt machte.^{*} Die Herleitung, die er wählte, ist indessen von der hier gegebenen wesentlich verschieden, denn zunächst entwickelt Gerstner seine Theorie nicht für die fortschreitenden, sondern für die stehenden Wellen, wie sich solche unterhalb starker Wasserläufe und in der weniger auffallend zu bilden pflegen (Handbuch der Wasserbaukunst II. Theil, II. Band. Seite 435). In solchen bleibt die Wellenform unverändert an derselben Stelle, die Wasserläufe dagegen die Wellen

^{*} Theorie der Wellen. In den Abhandlungen des Königl. Bohemischen Gesellschaf der Wissenschaften für 1791. Aus dem Französischen von J. B. Gerstner und in Gilbert's Annalen. Band 32 unter dem Namen Wellentheorie bekannt gekommen.

großser Geschwindigkeit zufließt, wird plötzlich gehemmt, schwillt daher stark an und diese Anschwellung veranlaßt demnächst wieder einen beschleunigten Abfluß, so daß eine zweite, auch wohl eine dritte und vierte schwächere Welle sich bildet. Die Erscheinung ist also unbedingt der vorstehend untersuchten analog und der Unterschied beruht darin, daß in diesem Falle die Welle unverrückt stehen bleibt und die Wassermasse, bald verzögert bald beschleunigt, die Querschnitte zwischen den einzelnen Wellenlinien Fig. 10 durchläuft. Die Uebertragung der in solcher Art gefundenen Gesetze auf die Erscheinung der fortschreitenden Wellen ist indessen nicht vollständig motivirt. Außerdem aber erregt die nicht gehörig begründete Voraussetzung Bedenken, daß die Oberfläche jeder einzelnen Schicht, oder jede einzelne Wellenlinie durchweg einem gleich starken Drucke ausgesetzt sei. Gerstner sagt, die Linien, welche gleichem Drucke ausgesetzt sind, bezeichnen zugleich die Wege, in welchen die Wassertheilchen sich bewegen, denn, wenn ein Theilchen von dieser Linie abweichen sollte, so würde eine Kraft vorhanden sein müssen, welche dieses Verschieben bewirkte, und sonach würde der Druck von beiden Seiten nicht gleich groß sein. Daß dieses Raisonnement bereits von andrer Seite nicht für zutreffend erachtet ist, führt auch Weber an. Die vorstehende Auffassung und Erörterung der ganzen Erscheinung dürfte daher unmittelbarer geführt und vollständiger begründet sein. Jedenfalls hat Gerstner das Verdienst, die Aufgabe gelöst zu haben, ohne daß er die Bedingung unendlich niedriger Wellen einführte. Airy ist in neuerer Zeit *) genau zu denselben Resultaten für Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe gelangt und zwar auf einem streng systematischen Wege, doch bezieht sich seine Untersuchung nur auf Wellen von unendlich kleiner Höhe, er geht also von einer Voraussetzung aus, die in diesem Falle nicht nöthig war.

Indem die entwickelten Gesetze der Wellenbewegung nur für unendliche Wassertiefen gelten, so dürfte es nicht befremden, wenn sie an die Beobachtungen sich nicht anschließen, weil diese jedesmal bei endlicher und oft sogar bei sehr geringer Tiefe angestellt sind. Nichts desto weniger zeigen sie eine Uebereinstimmung, wie man sie bei der Unsicherheit der Messungen und der

*) Airy, Tides and Waves. Encyclopædia metropolitana. Vol. V. pag. 282 ff.

Apparate irgend erwarten kann. Es ergibt sich also, daß gefundenen Gesetze, soweit sie die Bewegung der obern Wasserschichten betreffen, auch bei endlicher Tiefe gelten. In welcher die Bewegung in der Nähe des Bodens erfolgt, bleibt der Untersuchung vorbehalten. Ich werde zunächst alle Beobachtungen, die mir bekannt geworden sind, mittheilen.

Weber benutzte zwei Glaskasten oder Wellenrinnen, wie nannte, in denen er die Wellen erregte. Die grössere Rinne, in welcher die wichtigeren Beobachtungen angestellt wurden, war 1,5 Fuss lang, $2\frac{1}{2}$ Fuss hoch und 1,12 Zoll weit. Sie wurde 22 bis 24 Zoll hoch mit Wasser angefüllt, und die Wellen wurden dadurch erzeugt, daß an einem Ende eine Röhre von 0,48 Zoll Weite 9 Zoll eingetaucht, alsdann in der obern Oeffnung geschlossen und die Oberfläche gehoben wurde. Sobald man nun die Oeffnung plötzlich frei werden liefs, so stürzte der Wassercylinder um und veranlafste die Wellenbewegung. Es war dafür gesorgt, daß sehr kleine Körperchen reichlich im Wasser schwebten, deren Bewegungen, die sie machten, wurden gemessen. Die Resultate waren:

Tiefe unter der Oberfläche.	vertikaler Durchmesser	horizontaler Durchmesser der Bahn.
1 Linie	0,8 Linien	1,14 Linien
3 Zoll	0,4 -	0,75 -
6 Zoll	0,32 -	0,60 -
9 Zoll	0,20 -	0,40 -
12 Zoll	0	0,40 -
15 Zoll	0	0,30 -
18 Zoll	0	0,42 -
21 Zoll	0	0,60 -

Wie in verschiedenen Tiefen schwebenden Theilchen bewegen sich so in gewissen Bahnen, die an der Oberfläche am größten sind und nach dem Boden hin aber kleiner werden. Sehr bedeutende Unregelmäßigkeiten zeigte diese Beobachtung unverkennbar, namentlich die Zunahme der horizontalen Durchmesser in den größten Tiefen. Ausserdem findet eine wesentliche Abweichung gegen die gefundenen Gesetze in sofern statt, als die Bahnen nicht kreisförmig, sondern flach elliptisch sind. Diese Anomalien dürfen nicht befremden, da in dem Apparate und bei der gewählten

Art der Anregung die Wellenbewegung sich nicht regelmässig einstellen konnte. Die sehr geringe Breite der Rinne war gewiss von nachtheiligem Einfluss. Der Wassercylinder stürzte nämlich lothrecht herab, er hatte also eine Bewegung, die sich der Wellenbewegung nicht anschloss, und konnte daher diese nur unregelmässig darstellen. Ein grosser Uebelstand war es endlich, dass jedesmal nur eine einzige messbare Welle dargestellt wurde. Nach den Zeichnungen, in denen Weber die Wege der schwebenden Theilchen angiebt, erhielten dieselben einen überwiegenden Impuls in horizontaler Richtung, so dass sie nach Vollendung des Umlaufes nur etwa auf die halbe Länge des in dieser Richtung durchlaufenen Weges zurückkehrten. Aus der Röhre flossen jedesmal 1,6 Cubikzoll Wasser aus, diese mussten bei ihrer Verbreitung in der Rinne die nächsten Wasserfäden um 0,72 Linien, und die in der Mitte der Rinne befindlichen Fäden, auf welche die Beobachtung sich bezog, nahe um jene 0,4 Linien versetzen, welche in den Messungen annähernd sich immer wiederholen. Wenn sonach diese Beobachtungen auch keineswegs die obigen Gesetze bestätigen, so deuten sie doch mit Rücksicht auf die erwähnten störenden Einflüsse den Eintritt der entwickelten Bewegungen ungefähr an.

Viel wichtiger sind die Beobachtungen, welche hin und wieder im offenen Meere und in Meeresbuchten an Wellen angestellt sind. Die Messungen betreffen ausser der Höhe der Wellen oder 2ρ , ihre Längen oder λ und ihre Geschwindigkeiten c . Die beiden letzten Grössen lassen sich noch am genauesten ermitteln, obwohl auch hierbei eine grosse Sicherheit gewiss nicht erreicht werden kann, da namentlich in der Bucht von Plymouth das bereits oben erwähnte plötzliche Verschwinden der Wellen und das Auftreten von neuen Systemen sehr auffallend in kurzen Zwischenzeiten sich immer wiederholte.

William Walker*) stellte in der Bai von Plymouth bei Wassertiefen von 39 bis 48 Fufs Rheinländisch vierzehn Beobachtungen an, wobei die Längen der Wellen 107 bis 447 Fufs und die Geschwindigkeiten 19,7 bis 44,7 Fufs Rheintl. betrugen. Berechnet man die Längen der Wellen aus den Geschwindigkeiten, so findet man sie meist kleiner, als die beobachteten, in drei Fällen aber grösser, und

*) The Civil Engineer and Architect's Journal. 1846. Pag. 109.

zwar in einem Falle sogar um 30 Procent. Nach allen Beobachtungen sind die berechneten Wellenlängen durchschnittlich um 11 Procent kürzer, als sie gemessen waren.

Bei einer Ueberfahrt über den Atlantischen Ocean stellte Stanley*) auf dem Kgl. Schiffe *Rattlesnake* bei heftigem Winde und grossentheils nach vielfach wiederholten Schätzungen, die unter sich um 30 Procent und mehr abwichen, sieben vollständige Beobachtungen an. Die Wellenlängen betrugen 192 bis 332 Fufs und die Geschwindigkeiten 36 bis 45 Fufs Rheinländisch. Berechnet man die ersteren aus den Geschwindigkeiten, so stellen sie sich in allen Fällen zu groß heraus, nämlich um 11 bis 34, durchschnittlich um 27 Procent.

Endlich theilt Scoresby**) eine Beobachtung mit, die er gleichfalls im Atlantischen Ocean gegen das Ende eines ungewöhnlich heftigen Sturmes anstellte, der 36 Stunden angehalten hatte. Die Wellen waren durchschnittlich 26 Fufs, zuweilen 30 Fufs hoch. Ihre Geschwindigkeit giebt er zu 46,5 und ihre Länge zu 534 Fufs an, Alles auf Rheinländisches Maafs reducirt. Berechnet man die Länge aus der Geschwindigkeit, so findet man sie nur 435 Fufs, also um 19 Procent zu klein.

Diese sämtlichen Beobachtungen vertheilen sich also nach beiden Seiten um die Resultate, zu welchen die obige Formel führt, und wenn man den Durchschnitt aus allen nimmt, so schliessen sie sich sehr annähernd daran an. Eine große Uebereinstimmung war aber wegen der Unsicherheit der Messungen namentlich auf einem in der Fahrt begriffenen Schiffe nicht zu erwarten.

Ich führe noch eine Beobachtung an, die der Lootsen-Commandeur Knoop mit großer Vorsicht und unter viel günstigeren Umständen auf dem Haffe in der Nähe von Swinemünde anstellte. Die Tiefe war daselbst 14 Fufs. Es wurden zwei Festpunkte gebildet, der eine durch die tief und sicher eingesteckte Peilstange und der andere durch ein vor zwei Draggern liegendes Boot. Letzteres wurde soweit zurückgezogen, daß ein freier Zwischenraum bis zur Stange von 80 Fufs blieb, wie die darüber ausgezogene Logleine ergab. Von einem Dampfboote aus, das zur Seite ankerte, wurden die

*) The Civil Engineer and Architect's Journal. 1848. Pag. 310.

**) The Civil Engineer and Architect's Journal. 1850. Pag. 800.

Zeiten beobachtet, in welchen derselbe Wellenscheitel von der Spitze des Bootes nach der Peilstange lief. Nach 22 einzelnen Beobachtungen geschah dieses in $6\frac{1}{2}$ bis 8 Secunden, durchschnittlich in 7,205 Secunden. Die Geschwindigkeit der Wellen war also 11,104 Fuß. Die Länge einer Welle oder der Abstand zweier Scheitel liefs sich gleichfalls vom Dampfboote aus, sowol gegen die bekannte Länge des Bootes, als auch an der eingetheilten Logleine sehr sicher beurtheilen, und ergab sich aus wiederholten Vergleichen gleich 25 Fuß. Berechnet man die Wellenlänge aus der Geschwindigkeit, so findet man $\lambda = 24,776$, also sehr genau übereinstimmend.

Es bestätigt sich daher die vorstehend entwickelte Wellentheorie durch die Erfahrung selbst wenn die Wassertiefen nur mäßig sind. Man muß aber annehmen, daß in der Nähe des Grundes ein Uebergang in eine andre abweichende Bewegung statt findet, welche auf die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und Länge der Welle keinen Einfluß hat.

Ein sehr wichtiger Umstand ist bisher nicht berührt worden, nämlich die Frage, in welchem Maasse die Wellen sich ausbilden, oder welches Verhältniß zwischen der Länge und Höhe der Wellen, also zwischen 2ρ und λ sich darstellt. Wäre die Wellenlinie eine gewöhnliche Cycloïde, in welchem Falle ρ oder der Radius der Bahnen, in denen die Theilchen der Oberfläche sich bewegen, gleich r wäre, so würde die Höhe zur Länge sich wie $1:\pi$ verhalten. Solche Höhe erreicht die Welle aber niemals. Jenes Verhältniß stellt sich vielmehr im äußersten Falle nach den vorstehend erwähnten Beobachtungen von Stanley wie $1:12$, gemeinlich ist es noch kleiner und nach der sorgfältigen Messung von Scoresby nur wie $1:20$.

Wenn der Wind dem Wasser eine gewisse lebendige Kraft mittheilt, so können die verschiedensten Wellenlängen sich bilden, und die Vermuthung liegt nahe, daß ein solches System sich wirklich darstellen wird, bei dem die gegenseitige Reibung der Wasserschichten an einander in einer vollen Wellenlänge vergleichungsweise gegen die derselben Wassermasse mitgetheilte lebendige Kraft ein Minimum ist. Ich habe diese Rechnung in der bereits oben angeführten academischen Abhandlung mitgetheilt. Die lebendige Kraft fand ich

$$L = c^2 \rho^3 \pi$$

und die Reibung

$$R = \frac{4}{9} \cdot \frac{k c}{r^2} \varrho^2$$

wobei ich nach meinen früheren Untersuchungen *) voraussetzte, die Reibung sei gleich dem Producte aus der reibenden Fläche in die erste Potenz der relativen Geschwindigkeit, multiplicirt mit einem constanten Faktor k . Diese Werthe ergaben aber, daß jenes Minimum eintritt, wenn ϱ , also die Höhe der Wellen, unendlich klein, oder r , also die Länge der Wellen, unendlich groß wird. Dieses erklärt sich dadurch, daß gerade in diesem Falle das Ueberneigen der Fäden, welches die stärkste relative Bewegung veranlaßt, unmerklich klein wird.

Hierin liegt gewiß der Grund, weshalb die Wellenlinien so weit von der gewöhnlichen Cycloide abweichen, jedenfalls ist aber die Geschwindigkeit des Windes von überwiegendem Einflusse auf diesen Theil der Erscheinung. Der Wind verstärkt nach und nach die Wellen, wie schon oben gezeigt ist, die Geschwindigkeit der Wellen kann also nie größer, als die des Windes werden und sie wird sogar immer bedeutend hinter dieser zurückbleiben, weil durch die verschiedenartigen Wellensysteme, die gleichzeitig auftreten, und durch die Reibung ein großer Theil der Kraft zerstört wird. Man nimmt an, daß bei Orkanen die Geschwindigkeit des Luftstromes bis 100 Fuß beträgt, ist sie aber auch nur halb so groß, so ist der Wind schon sehr stark, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man auf einer Locomotive steht, die in der Stunde 7 Deutsche Meilen zurücklegt, und nahe diese Geschwindigkeit hatten die Wellen nach Scoresby's Messung. Durch die Geschwindigkeit ist die Länge der Welle gegeben, und deren Höhe bildet sich in dem Maasse aus, daß die Bewegung, abgesehen von der Reibung und andern Verlusten, die lebendige Kraft aufnimmt, welche der Wind dem Wasser mittheilt.

Um die Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe an einem Beispiele zu erläutern, wähle ich Wellen, die zu den stärkeren gehören, die Stanley beobachtete, die aber doch bedeutend schwächer waren, als die von Scoresby gemessenen. Die Wellenlänge sei

*) Ueber den Einfluß der Temperatur auf die Bewegung des Wassers in Röhren, in den Abhandlungen der Kgl. Academie der Wissenschaften. Berlin, 1854.

gleich 300 Fufs und die Höhe der Welle oder die Erhebung des obern Scheitels über den untern gleich 20 Fufs, also

$$\lambda = 300$$

$$\rho = 10$$

Hieraus ergibt sich die Geschwindigkeit der Welle

$$c = 38,637$$

Die Welle legt demnach in der Stunde $5\frac{1}{4}$ Deutsche Meilen zurück, oder sie läuft so schnell, wie ein gewöhnlicher Personenzug auf der Eisenbahn. Die Wassertheilchen in der Oberfläche haben dagegen nur die Geschwindigkeit von 8,0920 Fufs in der Secunde, oder von $1\frac{1}{4}$ Meilen in der Stunde. Diese Theilchen bewegen sich aber in kreisförmigen Bahnen, daher in den obern Wellenscheiteln, übereinstimmend mit der Richtung des Windes, und in den untern, derselben entgegengesetzt. Die Geschwindigkeiten wechseln in allmählichen Uebergängen und stellen sich nach $7\frac{1}{4}$ Secunden wieder wie früher dar, indem

$$\tau = 7,7646 \text{ Secunden.}$$

Ferner ist

$$r = 47,747 \text{ Fufs}$$

und aus r und ρ findet man die Höhenlage des Mittelpunktes desjenigen Kreises, der die volle Cycloïde darstellen würde, nämlich

$$s = 74,643 \text{ Fufs.}$$

Der Spiegel des Meeres müßte also um dieses Maafs erhöht werden, wenn die scharf auslaufenden obern Scheitel sich zeigen sollten, durch welche die gewöhnliche Cycloïde sich von der gestreckten unterscheidet. Diese Scheitel würden sich aber $95\frac{1}{4}$ Fufs über die dazwischen liegenden untern Scheitel erheben, oder dieses würde die ganze Wellenhöhe sein.

Endlich ist noch die Abnahme der Bewegung bei größerer Tiefe zu untersuchen. In der Oberfläche durchlaufen die Wassertheilchen Bahnen, deren Radien 10 Fufs messen, sie bewegen sich also auf und ab und hin und her um 20 Fufs. In der Tiefe von 50 Fufs ist dagegen ρ nur noch 3,5092 oder die hin und her gerichtete Bewegung hat sich schon auf 7 Fufs ermäßigt. In der Tiefe von

$$100 \text{ Fufs ist } \rho = 1,2315 \text{ Fufs}$$

$$200 \quad - \quad = 0,1516 \quad -$$

$$300 \quad - \quad = 0,0186 \quad -$$

$$400 \quad - \quad = 0,0023 \quad -$$

$$500 \quad - \quad = 0,0003 \quad -$$

3. Wellen bei geringer, constanter Tiefe. 47

Die Bewegung vermindert sich daher in der Tiefe von 200 Fuß schon auf Schwankungen von $3\frac{1}{2}$ Zoll, die bei der langen Periode der Welle kaum noch zu bemerken sein möchten. Indem dieses Beispiel sich aber auf einen heftigen Sturm bezieht, so erklärt es sich, daß Taucher schon in der Tiefe von etwa 30 Fuß einen mäßigen Wellenschlag der Oberfläche nicht mehr empfinden.

§. 3.

Wellen auf Wasserflächen von geringer, aber constanter Tiefe.

Unter den verschiedenen Untersuchungen über die Bewegung der Wellen auf Wasserflächen von endlicher Tiefe muß vorzugsweise die bereits erwähnte Abhandlung des Englischen Astronomen Airy (Tides and Waves) genannt werden, welche den Gegenstand streng wissenschaftlich behandelt, auch nach der Ansicht des Verfassers zu Resultaten führt, die mit den von Scott Russell angestellten Beobachtungen, die ich später berühren werde, genügend übereinstimmen. Dabei ist jedoch die Voraussetzung eingeführt, daß die Wellen nur eine unendlich kleine Höhe haben, und hierdurch wird die Bedingung der Continuität, die jedenfalls vorzugsweise berücksichtigt werden muß, so untergeordnet, daß die Verhältnisse sich ganz anders gestalten, als bei Wellen von meßbarer Höhe. Indem aber selbst auf sehr flachen Gewässern Wellen von merklicher Höhe sich regelmäÙig ausbilden, so folgt hieraus, daß auch diese bestimmten Gesetzen folgen. Die von Airy hervorgehobene Uebereinstimmung seiner Theorie mit jenen Beobachtungen ist aber sehr zweifelhaft, Scott Russell bestreitet dieselbe und meint, seine Beobachtungen seien zu diesem Zwecke ganz willkürlich nach verschiedenen Methoden verändert worden.

Airy findet, daß die unter einander liegenden Bahnen, welche die einzelnen Elemente desselben Wasserfadens durchlaufen, Ellipsen sind, die sämtlich gleiche absolute Excentricität haben, oder in denen die beiden Brennpunkte jedesmal gleich weit von einander entfernt sind, so daß die horizontale halbe Achse α am Boden des Bassins gleich z wird, während die vertikale halbe Achse hier verschwindet. Außerdem soll, wenn man die bekannten Gleichungen der Ellipse

$$x = \alpha \sin \varphi$$

$$y = \beta \cos \varphi$$

zum Grunde legt, in jeder einzelnen Bahn der Winkel φ , oder die excentrische Anomalie, der Zeit entsprechend wachsen, so daß $\frac{d\varphi}{dt}$ constant ist.

Vergleicht man diese Resultate mit der geometrischen Bedingung, indem man die Untersuchung in derselben Weise wie oben führt, so ergeben sich auffallende Widersprüche.

Ein kleiner Theil des Fadens durchlaufe die dünne Schicht, die zwischen zwei Wellenlinien eingeschlossen ist, von denen die obere von einer elliptischen Bahn herrührt, deren halbe Achsen α und β sind, die untere dagegen von einer, die $\alpha - \delta\alpha$ und $\beta - \delta\beta$ zu halben Achsen hat. Die mechanischen Bedingungen ergeben nun, daß beide Bahnen nicht in gleichen Zeiten durchlaufen werden, daß vielmehr der Winkel φ , wenn er für die obere 2π geworden ist, für die untere noch nicht diese GröÙe erreicht hat, also um $\delta\varphi$ kleiner ist. Der Winkel φ' , der für die letzte gilt, ist daher jederzeit

$$\varphi' = \varphi - \frac{\varphi}{2\pi} \delta\varphi$$

Man findet hiernach die Coordinaten der obern Wellenlinie

$$x' = ct - \alpha \sin \varphi$$

$$y' = \beta \cos \varphi$$

und die der untern

$$x'' = ct - (\alpha - \delta\alpha) \sin \varphi'$$

$$y'' = (\beta - \delta\beta) \cos \varphi'$$

Hierdurch werden die Punkte bezeichnet, welche nach Verlauf der Zeit t gleichzeitig von beiden Bahnen berührt werden, vorausgesetzt, daß in der Zeit $t = 0$ beide Endpunkte des Elementes in den obern Scheiteln ihrer Bahnen sich befanden.

Das untersuchte Wassertheilchen nimmt nun jedesmal einen Theil der Schicht ein, dessen horizontale Länge gleich dx' , und dessen vertikale Höhe gleich

$$\delta z + (y' - y'') - (x'' - x') \operatorname{tgt} \psi$$

ist, wenn ψ den Winkel bezeichnet, den die Wellenlinie an dieser Stelle mit dem Horizont macht. Mit Rücksicht auf das Zeichen von dy' ist

$$\operatorname{tgt} \psi = - \frac{dy'}{dx'}$$

das Flächenelement ist daher

$$df = (\delta z + y' - y'') dx' + (x'' - x') dy'$$

Der Einfachheit wegen vergleiche man nur die Flächen an den Endpunkten der Achsen mit einander.

I. für $\varphi = 0$ ist $df = (\delta z + \delta \beta)(cdt - \alpha d\varphi)$

II. für $\varphi = \pi$ $df = (\delta z - \delta \beta)(cdt + \alpha d\varphi)$

III. für $\varphi = \frac{1}{2}\pi$ $df = (\delta z - \frac{1}{2}\beta \delta \varphi) cdt - \beta \delta \alpha d\varphi$

IV. für $\varphi = \frac{3}{2}\pi$ $df = (\delta z + \frac{1}{2}\beta \delta \varphi) cdt - \beta \delta \alpha d\varphi$

Die Ausdrücke I und II vereinigen sich, wenn

$$\delta \beta = \frac{\alpha d\varphi}{cdt} \delta z$$

und sie geben alsdann

$$df = cdt \cdot \delta z - \alpha \delta \beta \cdot d\varphi$$

Die Ausdrücke III und IV sind nur in Uebereinstimmung zu bringen, wenn

$$\beta cdt \cdot \delta \varphi = 0$$

das heißt wenn $\delta \varphi = 0$, oder wenn im Widerspruch zur mechanischen Bedingung die Winkel φ in beiden Bahnen stets gleich groß bleiben. Alsdann erhält man

$$df = cdt \cdot \delta z - \beta \delta \alpha \cdot d\varphi$$

Verbindet man diesen Werth von df mit dem aus I und II gefundenen, so folgt

$$\alpha \delta \beta = \beta \delta \alpha$$

$$\frac{\delta \beta}{\beta} = \frac{\delta \alpha}{\alpha}$$

folglich

$$\beta = n \cdot \alpha$$

so n irgend eine constante Zahl ist, die auch gleich 1 sein kann. Sobald β gleich Null wird, so muß auch α verschwinden.

Führt man in die Gleichung

$$\alpha \delta \beta = \beta \delta \alpha$$

die Werthe

$$\delta \beta = \frac{\alpha d\varphi}{cdt} \cdot \delta z = \frac{\alpha}{r} \delta z$$

und

$$\beta = \alpha$$

in, so kommt man wieder auf die oben hergeleitete Differenzialgleichung

$$\delta z = r \frac{\delta \alpha}{\alpha}$$

woraus sich die Beziehung zwischen dem Radius α und der Wassertiefe z für Wellen von unendlicher Tiefe ergibt.

Wenn man also, wie Airy gethan, die Wassertiefe endlich, die Wellenhöhe aber unendlich klein annimmt, so ist das Resultat dasselbe, als wenn man jene unendlich groß und diese endlich angenommen hätte. Die Bewegung erfolgt aber, wie meine Beobachtungen sehr augenfällig zeigten, in ganz anderer Weise, und die Wellen stellen sich wirklich in der Art dar, daß die Anschwellungen aller unter einander liegenden Schichten zusammentreffen, also durch ihre Verbindung die Welle gebildet wird, während nach den Resultaten, zu denen Airy gelangt, die Geschwindigkeit der Welle

$$c = \sqrt{2g \frac{\beta}{\alpha} r}$$

sein sollte, also für alle Schichten von dem Verhältnisse zwischen β und α abhängig, und daher verschieden wäre. Die Wellen würden also, wenn sie auch den Raum vollständig füllen könnten, nicht zusammentreffen und müßten sich also gegenseitig wenigstens theilweise zerstören. Diesen Widerspruch hat der Verfasser auch bemerkt, doch glaubt er bei der vorausgesetzten unendlich kleinen Höhe der Wellen denselben dadurch zu beseitigen, daß er die Geschwindigkeit der Welle allein nach den Anschwellungen der oberen Schicht bestimmt.

Indem es darauf ankommt, die Bewegungen der Wassertheilchen kennen zu lernen, wie sie wirklich sich darstellen, so ging ich zunächst zur Beobachtung der Erscheinung über. Der Apparat, den ich benutzte, ist in Fig. 3 und 4 in der Seitenansicht und im Grundrisse dargestellt. Das Bassin, in welchem die Wellen erregt wurden, war wieder eine Rinne. Ihre Länge maas 12 Fuß und ihre Breite, so wie die Höhe 4 Zoll. Sie war aus starkem Zinkblech sorgfältig geformt, und in den scharf abgefaseten Endflächen der einzelnen Bleche zusammengelöthet. Um ein Ausbauchen der Seitenwände zu verhindern, waren diese durch aufrechtstehende starke Bretter unterstützt, die an die Bohle, welche die Rinne trug, mit Holzschrauben befestigt waren. In der Mitte der Rinne waren in beiden Seitenwänden und zwar einander gegenüberstehend Oeffnungen von $3\frac{1}{2}$ Zoll Breite und Höhe eingeschnitten, welche aufgekittete Glasscheiben schlossen. Hiedurch wurde die Gelegenheit geboten die in der Wassermasse eintretende Bewegung zu beobachten.

Indem die rücklaufenden Wellen überaus störend waren, und Anfangs sogar jede Beobachtung vereitelten, so kam es darauf an

3. Wellen bei geringer, constanter Tiefe. 51

Wellenbewegung am Ende der Rinne zu zerstören. Die Anbringung eines erweiterten Bassins war von wenig Nutzen, auch Versuch, die Wellen auf eine geneigte Fläche auflaufen zu lassen, nur geringen Erfolg. Am vortheilhaftesten zeigten sich kleine Rinnen, die lothrecht auf dem Boden so befestigt waren, daß hohlen Seiten den Wellen entgegengekehrt standen. Indem sie die Wellen auffingen, so verursachten sie zwar gleichfalls jede zurücklaufende Welle, da sie aber auf etwa 2 Fuß Länge vertheilt waren, so traten die partiellen Rückläufe in ganz verschiedenen Zeiten ein und vereinigten sich nicht mit einander. Die Erregung wurde hierdurch viel einfacher und regelmässiger, ich brachte indessen auch an dem andern Ende der Rinne dieselbe Vorrichtung anbringen, weil sonst die Erregung der Wellen zu unregelmässig wurde. Die Figuren zeigen diese letzten Rinnen.

Zur Erregung der Wellen benutzte ich eine Vorrichtung, die endlich von derjenigen abwich, die Weber angewendet hatte. Ich kam nämlich darauf an, nicht eine einzelne, sondern eine lange Reihe von möglichst gleichmässigen Wellen darzustellen, an welchen ich dieselben Erscheinungen wiederholentlich beobachten und zugleich die verschiedenen erforderlichen Messungen vornehmen konnte. Man regt man mit der Hand eine Scheibe, welche den Querschnitt der Rinne beinahe ausfüllt, schnell hin und her, so bilden sich an dieser Stelle Wellen, die von hier aus nach beiden Enden der Rinne laufen. Es mußte also durch eine mechanische Vorrichtung die Scheibe schnell vor und zurück geschoben werden, es war aber nothwendig, die Geschwindigkeit derselben auch beliebig zu verstärken oder schwächen zu können, und ebenso mußte auch der jedesmalige Weg beliebig zu verlängern oder zu verkürzen sein, um die nöthigen Aenderungen nicht auszuschliessen. Indem ich endlich vermuthete, daß die Wasserfäden während der Wellenbewegung nicht nur vor- und zurückgehn, sondern sich auch zugleich in der jedesmaligen Richtung ihres Weges überneigen, und ich schon durch die Scheibe diejenigen Bewegungen den Fäden mitzutheilen wünschte, die sie wirklich annehmen, so mußte die Scheibe auch der Art geführt werden können, daß ihr oberer und unterer Theil beliebig verschiedene Wege beschreiben konnte.

Die Scheibe, welche den Querschnitt der Rinne soweit füllt, als sie ohne Seitenreibung hin- und hergezogen werden kann,

wurde hiernach durch zwei Zugstangen mit einem aufrecht stehenden Hebel verbunden. Die obere horizontale Zugstange spaltet sich und faßt die Scheibe an beiden Seiten, um eine Drehung derselben zu verhindern. Die untere, welche die Scheibe möglichst tief faßt, kann dagegen an verschiedenen Stellen des Hebels befestigt werden. Geschieht dieses mittelst desselben Bolzen, der die obere Stange führt, so schiebt sich die Scheibe während der Bewegung nur hin und her ohne ihre Neigung zu verändern. Wird diese Zugstange dagegen mit ihrem Einschnitte unmittelbar auf die Achse des Hebels gelegt, so bleibt der untere Rand der Scheibe beinahe unverändert an derselben Stelle, und die Scheibe neigt sich nur hin und her. Zwischen diesen Extremen konnten aber noch sehr verschiedene Befestigungsarten der untern Zugstange am Hebel gewählt werden, wodurch andere Verhältnisse zwischen der Neigung und der Länge des Weges sich darstellten. Jedenfalls mußte die Scheibe immer lothrecht stehn, wenn der Hebel solchen Stand hatte.

Der Hebel war mit einer längeren Achse verbunden, die möglichst nahe über dem Boden der Rinne lag. Er bestand aus zwei parallelen Messingstäbchen, in denen die Bolzenlöcher angebracht waren, woran beide Zugstangen mittelst eingesetzter Schraubenbolzen befestigt wurden. Er setzte sich indessen noch aufwärts fort, und hier griff die Lenkstange ein, die ihm die Bewegung mittheilte.

Die Lenkstange reichte bis zu einem Krummzapfen, der aus einer starken Messingscheibe heraustrat. Dieser konnte in neun verschiedenen Abständen von der Drehungs-Achse befestigt werden, und eben so viele Bolzenlöcher befanden sich diesen gegenüber in gleichen Abständen, wo ein Gegengewicht eingeschoben wurde, welches dem Gewichte des Krummzapfens und der halben Lenkstange gleich war.

Die erwähnte Messingscheibe war zur Vermehrung ihres Gewichtes und zur Vergrößerung ihres Drehungsmomentes noch mit einem starken Bleiringe umgeben und wog $2\frac{1}{2}$ Pfund. Sie war mit einer cylindrischen Walze aus Messing verbunden, von 4 Zoll Länge und 0,4 Zoll Dicke. Um letztere wurde der Seidenfaden gewunden, der mittelst des angehängten Gewichtes die ganze Maschine in Bewegung setzte. Dieses Gewicht hing aber nicht unmittelbar daran, vielmehr lief der Faden über einen kleinen Flaschenzug von 5 Scheiben, dessen unterer Block das Gewicht trug. Während dieses

10 Fuß herabsank, wurden gegen 200 Windungen des Fadens abgezogen, oder eben so viele Umdrehungen machte die Messingscheibe und erregte eben so viele Wellen. Die regelmäßige Bewegung trat indessen immer erst ein, wenn die obere Lage der Windungen abgezogen war und der Faden unmittelbar auf dem Messing-Cylinder auflag. In dieser Weise eigneten sich nur etwa 100 Wellen zu eigentlichen Beobachtungen. Durch Veränderung des angehängten Gewichtes, das 1 bis 3 Pfund betrug, konnte die Periode der Wellen vergrößert oder verkürzt werden.

An der Walze, welche die Messingscheibe mit dem Krummzapfen trägt, befindet sich an dem entgegengesetzten Ende noch eine Elfenbeinscheibe, die mit einigen Windungen eines Schraubenganges versehen ist, in diese greifen die Zähne eines sehr leichten hölzernen Rädchen ein, das an dem vorstehenden Ende seiner Achse auch zurückgeschoben und gegen einen festen Zahn gestellt werden kann. Das Rädchen hat 50 mit Nummern versehene Zähne und wenn man es 10 oder 15 Secunden hindurch in die Schraubengewinde eingreifen läßt, so zeigt es bei dem Einstellen in den festen Zahn, wieviel Wellen in dieser Zeit erregt wurden. Die Anordnung stimmt genau mit derjenigen überein, die beim Voltmans'chen Flügel üblich ist.

Indem die Scheibe, welche die Wellen erregte, ziemlich schwer war und auf dem Boden der Rinne eine starke Reibung erfuhr, so verband ich sie mittelst eines Fadens mit einem in 2 Fuß Abstand darüber angebrachten Hebel, an dessen anderm Arme ein Gegengewicht hing. Das Gewicht der Scheibe durfte indessen nicht vollständig aufgehoben werden, weil sonst die Scheibe, besonders wenn sie sich überneigen sollte, aus dem Wasser sprang.

Es ergibt sich hieraus, daß mit diesem Apparate sehr verschiedenartige Bewegungen dargestellt werden konnten. Die Scheibe ließ sich in vertikaler Stellung hin- und herschieben, man konnte sie aber auch beliebig weit vor- und rückwärts sich überneigen lassen und sogar die Bewegung ihres untern Randes beinahe ganz hemmen. Der Weg den sie zurücklegte, hing von der Entfernung des Krummzapfens von der Achse der Messingscheibe ab, und ließ sich innerhalb weiter Grenzen verändern. Endlich erfolgte die Bewegung um so schneller oder um so langsamer, je mehr das angehängte Gewicht vergrößert oder vermindert wurde.

Die horizontale Aufstellung der Rinne war leicht zu prüfen, sobald man Wasser hineingoss und an verschiedenen Stellen die Tiefen maafs. Hierzu diente ein Maafsstab, der abwärts in seiner Verlängerung mit einer $3\frac{1}{2}$ Zoll langen Metallspitze versehen war. Er wurde von einem kleinen Gestelle gehalten, das auf den sorgfältig gearbeiteten obern Rand der Rinne überall aufgesetzt werden konnte. In diesem liefs er sich senkrecht auf- und abschieben und wurde in jeder Höhe durch eine schwache Feder festgehalten. Zuerst schob ich ihn jedesmal so tief herab, dafs die Spitze den Boden der Rinne berührte, alsdann hob ich ihn, bis dieselbe Spitze die Oberfläche des Wassers traf. Letzteres liefs sich sehr genau erkennen, sobald eine weifse Fläche über der Rinne befestigt und das Auge so gehalten wurde, dafs der Widerschein derselben das Spiegelbild der Spitze deutlich sehn liefs. Man konnte alsdann mit grofser Schärfe den Maafsstab soweit senken, dafs die Spitze mit ihrem Bilde zusammenfiel. Sobald erstere aber auch nur ein wenig in das Wasser eintauchte, so wurde sogleich die Oberfläche des Wassers gekrümmt, und das regelmäfsige Bild verschwand. Zum Ablesen des Maafses diente ein scharf markirter Zeiger, und mehrfache Wiederholungen derselben Messung ergaben, dafs mittelst dieses Apparates die Tiefen bis auf den hundertsten Theil eines Zolles sicher gemessen werden konnten. Diese Schärfe ergab sich jedoch als ganz entbehrlich, weil die Erscheinung selbst, namentlich in der Wellenerhebung, viel gröfsere Unregelmäfsigkeiten zeigte.

Um die Bewegung der Theilchen im Innern der Wassermasse zu erkennen, versuchte ich zunächst, wie Weber dieses auch gethan hatte, einzelne kleine schwebende Körperchen zu verfolgen. Ich mußte indessen oft lange warten, bevor solche zwischen die beiderseitigen Glasscheiben traten, und überdies fehlte hierbei die Gelegenheit, gleichzeitig die Beobachtung auf verschiedene Wassertiefen auszudehnen. Ich hing deshalb neben einander in verschiedenen Höhen kleine Wachskügelchen von der Gröfse eines gewöhnlichen Nadelknopfes, in welche jedesmal ein Sandkörnchen eingedrückt war. Die feinen Fäden waren 18 Zoll darüber befestigt, so dafs die Kügelchen, ohne ihre Höhe merklich zu verändern, nach vorn und hinten frei ausschwingen konnten. Hierbei zeigte sich schon sehr auffallend die wichtige Erscheinung, dafs die sämtlichen Kügelchen und selbst die, welche beinahe den Boden berührten, beim

Vorübergänge jeder Welle, soweit man es bemerken konnte, übereinstimmende horizontale Bewegungen machten. Sie nahmen jedoch sehr bald verschiedene Stellungen ein, und dieses nicht nur in der Längenrichtung der Rinne, sondern auch seitwärts, wobei die Fäden sich berührten und umschlangen, und in kurzer Zeit hatten sie sich so versponnen, daß es die äußerste Mühe machte, und oft unmöglich war, sie wieder zu trennen.

Ich wählte deshalb eine andere Vorrichtung, nämlich eine sehr leichte Scheibe, bestehend aus einem Glimmerblättchen von 1 Zoll Breite und solcher Höhe, daß sie den Boden beinahe berührte, und beim Vorübergange der Wellen noch so eben stets unter Wasser blieb. Das Blättchen war in der Mitte nochmals gespalten, und hier ein feiner Draht hindurchgezogen, der als Drehungs-Achse diente, welche bei dem sehr geringen Gewichte keiner weiteren Befestigung bedurfte. Diese Achse ruhte mit beiden Enden in kleinen Oesen eines aus demselben Drahte gebildeten Rahmens Fig. 5. Letzterer hing an den beiden Enden eines seidenen Fadens, der etwa 2 Fuß hoch über dem Glimmerblättchen durch zwei andere Oesen an einer verschiebbaren Stange gezogen war. Diese beiden Oesen wurden jedoch bedeutend weiter von einander entfernt, als die des Rahmens, damit letzterer stets normal gegen die Bewegung der Wellen gerichtet blieb. Endlich mußte das Glimmerblättchen noch an seinem untern Ende durch ein kleines Gewicht beschwert werden, damit es in ruhendem Wasser von selbst sich lothrecht stellte. Das Blättchen wog, wenn es 2 Zoll hoch war, mit Einschluss des daran angebrachten Gewichtes, der Achse und des Rahmens nur 34 Centigramme, und gab daher, wie ich durch sanftes Fortziehn desselben mich leicht überzeugen konnte, sehr sicher die geringsten Bewegungen im Wasser an.

Die Beobachtungen bezogen sich zunächst auf die Höhen oder die vertikalen Abstände der obern und untern Scheitel der Wellen, indem hierbei indessen große Verschiedenheiten sich zeigten, so genügte es vollkommen, einen Handzirkel dazu zu benutzen, der an die Glasscheibe gelehnt wurde. In derselben Weise wurde auch der Weg gemessen, den das Glimmerblättchen in einer und der andern Richtung durchlief. Ich benutzte zu der letzten Messung einen zweiten Cirkel, um nicht während der kurzen Dauer des jedesmaligen Versuches die Ablegung des Maasses vornehmen zu

dürfen. Außerdem wurde die Geschwindigkeit der Wellen beobachtet, d. h. ich bezeichnete durch aufgelegte Stäbchen den Weg, den eine Welle in 3, zuweilen auch nur in 2 Secunden zurücklegte, und zwar geschah dieses nach dem Schlage einer Secundenuhr. Es darf kaum erwähnt werden, daß diese Messung keine große Schärfe hatte. Endlich wurde an dem oben beschriebenen Rädchen noch die Anzahl der in einer gewissen Zeit einander folgenden Wellen beobachtet. Mit der letzten Operation wurde der Anfang gemacht, sobald die obere Lage der Fäden von der cylindrischen Walze abgelaufen war, und gemeinhin blieb nach Ausführung der andern Messungen noch hinreichende Zeit, um die Periode der Wellen nochmals zu bestimmen.

Das wichtigste Resultat, zu dem diese Versuche führten, bestand in der Wahrnehmung, daß das Glimmer-Blättchen, das beinahe den Boden der Rinne berührte, sich nur hin und her bewegte, ohne sich abwechselnd nach vorn und rückwärts überzuneigen. Dieses geschah aber nicht nur, wenn die Scheibe, welche die Wellen erregte, so befestigt war, daß sie dauernd ihre lothrechte Stellung behielt, sondern auch, wenn ihr unterer Rand an derselben Stelle blieb, und sie sich allein nach vorn und hinten überneigte. Diese Bewegung, welche sie dem Wasser mittheilte, konnte sich daher nicht fortsetzen und war im Abstände von 4 Fuß schon vollständig in die parallele Verschiebung der Fäden übergegangen. Es zeigte sich auch, daß die leichten und feinen Staubmassen, die sich am Boden der Rinne bald zu sammeln pflegen, bei jeder Welle eben so weit hin und her geschoben wurden, wie das Glimmerblättchen selbst.

Besonders scharf ließ sich die Stellung dieses Blättchens beurtheilen, wenn ich es soweit zurückschob, daß es nicht mehr zwischen den beiden Glasscheiben hing, sondern so eben hinter die undurchsichtige Wand trat. Es reflectirte alsdann das darauf fallende Licht so stark, daß seine Stellung sehr deutlich zu erkennen war, und in dieser ließ sich durchaus keine Aenderung beim Hin- und Hergange bemerken. Zur Vergleichung spannte ich noch zwei feine Drähte in einen Rahmen, die unter dem Winkel von 2 Graden gegen einander geneigt waren. Indem ich diesen Rahmen daneben hielt, so konnte ich mich überzeugen, daß wenn auch wirklich eine sehr geringe Neigung eingetreten wäre, diese doch gewiß nach jeder

Seite die Grösse von 1 Grad nicht erreichte. Die Beobachtung bot indessen keine Veranlassung, solche überhaupt vorauszusetzen.

Hiernach bestätigt sich eine Aeufserung von Scott Russell, daß nämlich bei Wellen auf geringer Tiefe die horizontalen Bewegungen der über einander liegenden Wassertheilchen gleich groß sind. Wichtiger ist es, daß auch de la Grange in der von ihm gegebenen Wellentheorie*) von derselben Voraussetzung ausgegangen ist. Dabei ist jedoch wieder angenommen, daß die vertikalen Bewegungen oder die Höhen der Wellen unendlich klein sind. Ich werde versuchen, diese Beschränkung zu umgehn und zunächst zu prüfen, ob bei dieser Art der Bewegung die geometrische Bedingung auch bei endlicher Höhe der Wellen erfüllt werden kann.

Jeder einzelne Wasserfaden behält hiernach seine vertikale Stellung dauernd bei, und hieraus folgt wieder, daß er beständig von zwei vertikalen Ebenen, oder im Längendurchschnitte der Welle von zwei vertikalen Linien begrenzt wird, er also vom Fusse bis an sein oberes Ende jederzeit gleich stark ist. Die Wellenbildung kann alsdann nur erfolgen, indem die Fäden sich abwechselnd verlängern und verkürzen, im umgekehrten Verhältnisse muß ihre Dicke sich dabei jedesmal verändern, oder die Fäden müssen einander genähert oder entfernt werden. Hierauf beruht die horizontale Verschiebung der Fäden, die sich aus den Beobachtungen sehr deutlich erkennen läßt. Der Druck setzt sich daher in derselben Art fort, wie in einer Reihe einander berührender elastischer Körper. Die Wasserfäden werden eben so wie diese, und zwar viel auffallender, stellenweise zusammengedrängt, sie können aber nur nach oben ausweichen, daher erheben sie sich, und in Folge dieses Ueberdruckes entfernen sie sich darauf wieder von einander, wobei sie eine geringere Höhe annehmen, als sie ursprünglich hatten. Diese Bewegung kann augenscheinlich nur eintreten, wenn alle Theilchen eines Fadens abwechselnd sich erheben und sich senken. Dieses ist von de la Grange nicht berücksichtigt, indem er nur unendlich niedrige Wellen untersuchte.

Die einzelnen Wassertheilchen eines Fadens durchlaufen dem-

*) Sur la manière de rectifier deux endroits des principes de Newton, relatifs à la propagation du son et au mouvement des ondes. Nouveaux mémoires de l'Académie royale des sciences et belles lettres. Année 1786. Berlin 1788. pag. 192 ff.

nach beim Vorübergange jeder Welle wieder geschlossene Bahnen, die sämmtlich gleiche horizontale Durchmesser haben, die vertikale Durchmesser derselben müssen aber an der Oberfläche des Wassers am größten sein, in der Tiefe immer kleiner und unmittelbar über dem Boden gleich Null werden. Am einfachsten wäre es, elliptische Bahnen voranzusetzen. Diese Annahme ist aber nicht zulässig, weil sie, wie später sich ergeben wird, die Bedingung einschließt, daß die Höhe der Welle gegen die Wassertiefe unendlich klein sein muß. Diese Beschränkung entspricht aber keineswegs der wirklichen Erscheinung und selbst in meinen Beobachtungen war die Höhe der Welle zuweilen beinahe der halben Wassertiefe gleich.

Die Bahnen müssen daher andre Curven sein, und es genügt, die Gleichung der Ellipse durch Einführung eines neuen Gliedes so zu ändern, daß sowol die obere, als auch die untere Hälfte sich etwas hebt. Hiernach lege ich für die Bahnen die 'Ausdrücke zum Grunde

$$x = \alpha \sin \varphi$$

und

$$y = \beta \cos \varphi + \gamma \cos \varphi^2$$

Wie früher bedeutet hier wieder α die halbe horizontale und β die halbe vertikale Achse. Der Winkel φ zählt gleichfalls von dem durch den obern Scheitel gezogenen Lothe in der Richtung der Bewegung der Welle.

Bezeichnet c die constante Geschwindigkeit der Welle und p die Höhe, in welcher der Mittelpunkt der betreffenden Bahn über dem Boden sich befindet, so sind die Gleichungen der Wellenlinie

$$x' = ct - \alpha \sin \varphi$$

$$y' = p + \beta \cos \varphi + \gamma \cos \varphi^2$$

Die x' bezeichnen hier die horizontalen Abstände vom obern Scheitel der Welle und die y' die Höhen über dem Boden des Bassins.

Denkt man wieder eine volle Welle von einem obern Scheitel bis zum nächstfolgenden durch Vertikal-Linien in soviel Theile eingetheilt, als die Periode der Welle oder τ Zeitelemente dt enthält, und sind außerdem die Flächen dieser sämmtlichen Theile einander gleich; so wird der untersuchte Wasserfaden beim Vorübergange jeder Welle in den auf einander folgenden Zeitelementen nach und nach alle diese einzelnen Flächen einnehmen. Wenn er sich gerade in einer derselben befindet, so bezeichnet die nächstliegende die

3. Wellen bei geringer, constanter Tiefe. 59

Breite und Höhe, die er im folgenden Zeitelemente haben wird, sie bezeichnet aber auch seine horizontale Verschiebung, wenn man jedesmal die Wellen-Ebene um den Weg $c dt$ weiter zieht.

Hieraus ergibt sich die Bedingung, daß diese sämtlichen Flächen unter sich und zugleich dem Wasserfaden im Zustande der Ruhe gleich sind.

$$p c \cdot dt = y' \cdot dx' \\ = (p + \beta \cos \varphi + \gamma \cos \varphi^2) (c \cdot dt - \alpha \cos \varphi \cdot d\varphi)$$

Der Einfachheit wegen setze man

$$\frac{\beta}{p} = \varrho$$

und

$$\frac{\gamma}{\beta} = \sigma$$

Man erhält alsdann

$$p c \cdot dt = p (1 + \varrho \cos \varphi + \varrho \sigma \cos \varphi^2) (c \cdot dt - \alpha \cos \varphi \cdot d\varphi)$$

Hieraus ergibt sich

$$c dt = \frac{\alpha p}{\beta} \cdot \frac{1 + \varrho \cos \varphi + \varrho \sigma \cos \varphi^2}{1 + \sigma \cos \varphi} \cdot d\varphi \\ \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{c}{p} \cdot \frac{1 + \sigma \cos \varphi}{1 + \varrho \cos \varphi + \varrho \sigma \cos \varphi^2}$$

Der Winkel φ wächst also nicht gleichmäfsig mit der Zeit t , und wenn man dt als constant ansieht, so ist $d\varphi$ variabel. Aus dem Ausdruck für x' ergibt sich aber, daß der Winkel φ in allen zu demselben Wasserfaden gehörigen Elementen jederzeit gleich groß ist, er also auch um gleiche Werthe von $d\varphi$ in jedem Momente zunimmt. Durch Einführung des so eben gefundenen Ausdruckes für $c dt$ in die Gleichung für dx' , findet man

$$dx' = \frac{\alpha p}{\beta} \cdot \frac{d\varphi}{1 + \sigma \cos \varphi}$$

In zwei zunächst untereinander belegenen Bahnen sei der Abstand der beiden horizontalen Achsen von einander δp und die kleinen Quantitäten, um welche die Werthe von β und γ in der untern Bahn kleiner sind, als in der obern, nenne man $\delta\beta$ und $\delta\gamma$. Die Flächen in der entsprechenden Schicht der Wellenebene müssen einander wieder gleich sein, und da die beiden untersuchten Punkte jederzeit von den vertikalen Achsen ihrer Bahnen gleich weit entfernt sind, so hat man

$$df = (y' - y'') dx'$$

Wenn man aber dx' nicht durch das variable $d\varphi$, sondern durch

das constante dt ausdrückt, so ist

$$dx' = \frac{cdt}{1 + \rho \cos \varphi + \rho \sigma \cos \varphi^2}$$

daher

$$df = \frac{\delta p + \cos \varphi \cdot \delta \beta + \cos \varphi^2 \cdot \delta \gamma}{1 + \rho \cos \varphi + \rho \sigma \cos \varphi^2} \cdot cdt$$

oder wenn man die Division ausführt,

$$df = cdt [\delta p - (\rho \delta p - \delta \beta) \cos \varphi + (\rho^2 \delta p - \rho \sigma \delta p - \rho \delta \beta + \delta \gamma) \cos \varphi^2 \\ - (\rho^3 \delta p - 2\rho^2 \sigma \delta p - \rho^2 \delta \beta + \rho \sigma \delta \beta + \rho \delta \gamma) \cos \varphi^3 + \dots]$$

Die Coefficienten der verschiedenen Potenzen von $\cos \varphi$ müssen an sich gleich Null sein, also

$$df = cdt \cdot \delta p$$

was an sich klar ist. Ferner

$$\rho \cdot \delta p - \delta \beta = 0$$

oder

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{\delta \beta}{\beta}$$

also β ist proportional der Tiefe p . Eben so ergibt sich, wenn man den gefundenen Werth von $\delta \beta$ in den Coefficient von $\cos \varphi^3$ einführt,

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{\delta \gamma}{\gamma}$$

Der Coefficient von $\cos \varphi^3$ und die der höheren Potenzen werden durch Einführung der Werthe von $\delta \beta$ und $\delta \gamma$ schon an sich gleich Null. Man sieht hieraus, daß β und γ der Wassertiefe unter dem Mittelpunkte der Bahn proportional sind, oder daß in jedem Wellensysteme β und γ sowol unter sich, als zur Tiefe p in constantem Verhältnisse stehn. Wie dieses Verhältniß sich gestaltet, läßt sich aus der geometrischen Betrachtung nicht ermitteln.

Letztere führt indessen noch zu einigen andern wichtigen Folgerungen:

$$dx = \frac{\alpha p}{\beta} \cdot \frac{d\varphi}{1 + \sigma \cos \varphi}$$

$$\text{daher} \quad x = \frac{2 \alpha p}{\beta \sqrt{1 - \sigma^2}} \text{Arc} (tg t = \sqrt{\frac{(1 - \sigma)(1 - \cos \varphi)}{(1 + \sigma)(1 + \cos \varphi)}})$$

Die halbe Länge der Welle von $\varphi = 0$ bis $\varphi = \pi$ ergibt sich hiernach

$$\frac{\alpha p}{\beta \sqrt{1 - \sigma^2}} \pi$$

und die ganze Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2 \alpha p \pi}{\beta \sqrt{1 - \sigma^2}}$$

$$= \frac{2\alpha p \pi}{\beta} (1 + \frac{1}{2} \sigma^2 + \frac{1}{8} \sigma^4 + \dots)$$

Einen sehr einfachen Ausdruck findet man für die beiden Flächen, welche von der Wellenlinie und der durch den Mittelpunkt der Bahn gezogenen Horizontalen oberhalb und unterhalb der letzteren eingeschlossen werden, nämlich

$$y dx' = \alpha p \cos \varphi \cdot d\varphi$$

$$\int y dx' = \alpha p \sin \varphi$$

Die obere Fläche liegt zwischen $\varphi = \frac{1}{2} \pi$ und $\varphi = \frac{3}{2} \pi$, und die untere zwischen $\varphi = \frac{3}{2} \pi$ und $\varphi = \frac{1}{2} \pi$. Beide sind gleich groß, nämlich

$$2 \alpha p$$

Es könnte befremden, daß die Wassermenge, welche mit dem Kämme der Welle sich über den Horizont des stehenden Wassers erhebt, von der Höhe der Welle, also von β und γ ganz unabhängig ist. Die Höhe der Welle bedingt indessen den Werth von α oder die Verschiebung des einzelnen Wasserfadens. Die Fäden, welche im Stande der Ruhe die Länge $\frac{1}{2} \lambda$ einnahmen, breiten sich bei der Wellenbewegung bis $\frac{1}{2} \lambda + 2 \alpha$ aus, oder drängen sich zusammen bis $\frac{1}{2} \lambda - 2 \alpha$, und hieraus ergibt sich unmittelbar der vorstehende Ausdruck für die gehobene oder herabgesunkene Wassermasse.

Die mechanischen Verhältnisse gestalten sich bei dieser Art der Bewegung augenscheinlich ganz anders, als wenn die Tiefe unendlich groß ist, und namentlich beruht der Unterschied darauf, daß die einzelnen Wassertheilchen ihre Geschwindigkeit stets verändern. Hiernach scheint es angemessen, das von d'Alembert aufgestellte allgemeine dynamische Prinzip zum Grunde zu legen. Man darf indessen nicht hoffen, einen vollständigen Anschluß an dasselbe darzustellen, da die Form der Bahnen willkürlich und nur mit Rücksicht auf die geometrische Bedingung gewählt wurde. Gewiß wäre es vorzuziehen gewesen, dieselbe aus den allgemeinen hydrodynamischen Gleichungen herzuleiten, aber dieser schon so oft vergeblich versuchte Weg bot so große Schwierigkeiten, daß ich mich entschließen mußte, mich mit Resultaten zu begnügen, welche die Erscheinung nur annähernd richtig darstellen. Außerdem tritt bei dieser Bewegung auch die Reibung der Wasserfäden gegen den Boden mit großem Werthe in die Rechnung, und sonach

ist auch in dieser Beziehung die volle Uebereinstimmung der gefundenen Gesetze mit der Beobachtung nicht zu erwarten. sehr günstiger Umstand ist es dagegen, daß auf Wasserfläche endlicher Tiefe diese Bewegung, schon in geringer Höhe über Boden in diejenige übergeht, welche sich bei unendlicher Tiefe stellt, und sonach die bleibenden Fehler von geringem Einflusse die Haupt-Resultate sind. Diese Untersuchung dürfte daher zugunsten nur in sofern wichtig sein, als sie nachweist, in welcher Art die eine Bewegung in die andere übergeht.

Abgesehen von denjenigen äußeren Kräften, welche ursprünglich die Wellenbewegung veranlaßten oder sie später verstärken kann nur die Schwere als beschleunigende Kraft gelten, und in Rechnung gestellt werden. Ihre Wirkung beschränkt sich auf, daß von zwei einander berührenden Wasserfäden, die in derselben Wellenebene stehen, der von der Welle früher getroffen einen gewissen positiven oder negativen Druck auf den anderen übt. Dieser Druck wirkt aber nach dem bekannten hydrostatischen Gesetze gleichmäßig in der ganzen Höhe der Fäden. Wollte man bei der nahe übereinstimmenden Höhendifferenz dreier einander berührender Fäden, die in derselben Wellenebene stehen, annehmen, daß auf den mittlern Faden wirke eine Kraft, welche dem Doppelten dieser Differenz gleich sei, so würde man jeden Ueberdruck zweimal in Rechnung stellen, was unrichtig wäre. Dieser Ueberdruck ist, wenn die Breite der Fäden und eben so auch das Gewicht der Raumeinheit des Wassers 1 gesetzt wird, gleich dy' oder dy , und derselbe übt auf die ganze Länge des folgenden Fadens den Druck aus. Die Masse des letzteren ist aber $y'.dx$, daher die horizontal beschleunigende Kraft vergleichungsweise zur Schwere

$$X = \frac{dy'}{dx'}$$

Sollte außerdem noch eine gewisse vertikale beschleunigende Kraft in Betracht kommen, so könnte dieselbe nur $\frac{dy'}{y'}$, also sehr klein sein. Eine solche Annahme wäre aber auch in der Natur nicht statthaft, weil alsdann dieselbe Höhendifferenz als Ursache zweier beschleunigenden Kräfte eingeführt würde, was wieder nicht statthaft ist, sobald es sich um Bewegungen handelt. Die vertikale beschleunigende Kraft ist daher

$$Y = 0$$

Diese Auffassung stimmt genau mit der von de la Grange gewählten überein.

Man hat sonach die Bedingungsgleichung

$$0 = \sum \left[m \cdot \delta x \left(\frac{d^2 x}{dt^2} - 2g \frac{dy'}{dx'} \right) + m \cdot \delta y \frac{d^2 y}{dt^2} \right]$$

und wenn man statt der willkürlichen durch δx und δy bezeichneten Bewegungen die wirklich eintretenden oder dx und dy einführt, und integrirt, so folgt

$$0 = \sum \left[\frac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} m \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 - 2mg \int \frac{dy' \cdot dx}{dx'} \right]$$

Das erste Glied hat für alle zu demselben Wasserfaden gehörigen Theilchen dieselbe Bedeutung, so auch das letzte, weil die beschleunigende Kraft $\frac{dy'}{dx'}$ auf alle gleichmäfsig wirkt. Das zweite Glied hat dagegen für jedes dieser Theilchen einen andern Werth. Die geometrische Betrachtung ergab bereits, daß die Gröfsen β und γ den Abständen der Mittelpunkte der betreffenden Bahnen vom Boden proportional sind. Dieser Abstand sei für irgend eine der zu demselben Faden gehörigen Bahnen gleich h , während für die Bahn des die Oberfläche bildenden Theilchens der Abstand vom Boden gleich p ist. Die Veränderung in der Höhenlage jenes Theilchens sei gleich dy , während dy' und dx' sich allein auf dieses oder auf die Oberfläche beziehn. Alsdann hat man

$$dy = \frac{h}{p} dx$$

und die Masse dieses Wassertheilchen

$$m = dx' \cdot dh$$

daher seine lebendige Kraft in vertikaler Richtung

$$m \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = \frac{h^2}{p^2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 dx' \cdot dh$$

folglich die Summe derselben oder die lebendige Kraft des ganzen Fadens von $h = 0$ bis $h = p$

$$\frac{1}{2} p dx' \left(\frac{dy}{dt} \right)^2$$

Nenne ich nunmehr die Masse des ganzen Fadens μ , so ist

$$\mu = p dx'$$

also nimmt das zweite Glied den Werth

$$\frac{1}{2} \mu \left(\frac{dy}{dt} \right)^2$$

an und die ganze dynamische Bedingungsgleichung wird, wenn μ durch μ dividirt,

$$0 = \frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 - 2g \int \frac{dy \cdot dx}{dx'}$$

Hier beziehn sich x und y und deren Ableitungen allein auf Bewegungen des obern Theiles in dem untersuchten Wasserfad also auf die Oberfläche. Dasselbe gilt auch von den Bezeichnungen der Bahn-Achsen α , β und γ .

Führt man nun in diese Gleichung die Werthe von dx , dx' durch Functionen von φ ausgedrückt ein, und ordnet dieselben nach den Potenzen von $\cos \varphi$, so findet man

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 = \frac{1}{2} \rho^2 c^2 [\cos \varphi^2 + 2(\sigma - \rho) \cos \varphi^3 + \dots]$$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = \frac{\rho^2 c^2 \beta^2}{6 \alpha^2} [1 + (6\sigma - 2\rho) \cos \varphi + (13\sigma^2 - 14\sigma\rho + 3\rho^2 - 1) \cos^2 \varphi + (12\sigma^3 - 38\rho\sigma^2 + 24\sigma\rho^2 - 4\rho^3 - 6\sigma + 2\rho) \cos^3 \varphi + \dots]$$

$$2g \int \frac{dy \cdot dx}{dx'} = \frac{g\beta^2}{p} (\cos \varphi^2 + 2\sigma \cos \varphi^3 + \sigma^2 \cos \varphi^4) + \text{Const}$$

Alle drei Ausdrücke sind durch Integration dargestellt. Der erste wird mit der horizontalen Geschwindigkeit gleich Null $\varphi = \frac{1}{2} \pi$, es kommt daher keine Constante hinzu. Der zweite und dritte werden Null werden, wenn die vertikale Geschwindigkeit verschwindet, was geschieht wirklich bei $\varphi = 0$, denn jedes folgende Glied hat den Coefficient des zweit-vorhergehenden auf. Es kommt deshalb auch hier keine Constante hinzu. Die Constante des dritten Gliedes muß aber so bestimmt werden, daß die Summe der drei Glieder gleich Null wird, wenn $\cos \varphi = 0$. Hiernach ist

$$\text{Const} = - \frac{\rho^2 c^2 \beta^2}{6 \alpha^2}$$

Die dynamische Bedingungsgleichung enthält also keine Glieder welche von φ unabhängig sind.

Dagegen kommt ein Glied darin vor, welches die erste Potenz von $\cos \varphi$ zum Faktor hat. Dieses muß an sich gleich Null sein, also

$$6 \cdot \sigma - 2 \cdot \rho = 0$$

$$\rho = 3 \sigma$$

oder

$$\gamma = \frac{1}{2} \frac{\beta^2}{p} = \frac{1}{2} \beta \rho$$

3. Wellen bei geringer, constanter Tiefe. 65

Es muß hier darauf aufmerksam gemacht werden, daß wenn man die Bahnen als gewöhnliche Ellipsen in der Rechnung angesehen hätte, daß alsdann $\sigma = 0$ wäre, folglich nach Vorstehendem auch ρ oder β gleich Null sein müßte, oder die ganze Untersuchung sich wieder nur auf Wellen von unendlich geringer Höhe bezogen hätte.

Die vorstehenden Ausdrücke lassen sich, nachdem man die Beziehung zwischen ρ und σ kennt, wesentlich vereinfachen, und man erhält dadurch die Bedingungsgleichung

$$0 = \frac{1}{2} \rho^2 c^2 [\text{Cos } \varphi^2 - 4 \sigma \text{Cos } \varphi^3 + \dots] \\ + \rho^2 \frac{c^2 \beta^2}{6 \alpha^2} [-(1 + 2 \sigma^2) \text{Cos } \varphi^2 + 6 \sigma^2 \text{Cos } \varphi^3 + \dots] \\ - \frac{g \beta^2}{p} [\text{Cos } \varphi^2 + 2 \sigma \text{Cos } \varphi^3 + \dots]$$

Wenn man nun die Summe der Glieder, die $\text{Cos } \varphi^2$ zum Factor haben, gleich Null setzt, so erhält man

$$c^2 = \frac{2 g p}{1 - \frac{1}{2} \frac{\beta^2}{\alpha^2} (1 + 2 \sigma^2)}$$

Der Factor $1 + 2 \sigma^2$ ist indessen sehr nahe gleich 1, daher annähernd

$$c^2 = \frac{2 g p}{1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\beta^2}{\alpha^2}}$$

Ist die Erhebung der Welle unendlich klein, also $\frac{\beta}{\alpha} = 0$, so folgt

$$c^2 = 2 g p$$

Dieses ist dasselbe Resultat, zu dem unter derselben Voraussetzung auch de la Grange gelangt ist. Wenn dagegen, wie meine Messungen ergeben, in der frisch erregten Welle die vertikale Achse der obern Bahn eben so groß ist, wie die horizontale, oder $\beta = \alpha$, so ergibt sich

$$c^2 = 3 g p$$

Setzt man die Summen der Coefficienten von $\text{Cos } \varphi^2$, $\text{Cos } \varphi^4$ u. s. w. gleich Null, so ergeben sich keine brauchbare Resultate. Die kleine GröÙe σ tritt darin jedesmal auf, und meist sogar in höheren Potenzen, woher die Glieder ziemlich unbedeutend sind,

also dem Werthe von Null sich nähern. Wenn ihre Summen Werth aber nicht vollständig erreichen, so rührt dieses her, daß die vorausgesetzte Form der Bahnen den dynamischen Gesetzen nicht genau entspricht.

Ich erwähnte bereits, daß ich nach meinen Beobachtungen sehr nahe eben so groß wie α fand, ich muß aber hinzufügen α halb so groß war, als der Weg, den die Scheibe bei senkrechter Stellung zurücklegte. Nachdem ich mich überzeugt hatte, daß die Wasserfäden ohne sich überzuneigen nur vor- und zurückgeworfen würden, so gab ich auch der Scheibe diese Bewegung, um die Erscheinung in möglichster Regelmäßigkeit darzustellen und die Uebergänge aus einer Bewegung in die andre zu vermeiden. Gewiß einen großen Theil der mitgetheilten lebendigen Kräfte summirten. Die Scheibe bewegte sich bis 12 Linien weit hin und zurück. Ueber dieses Maas hinaus konnte ihr Weg nicht ausgedehnt werden, weil die Erscheinung sonst zu ungleichmäßig sich darstellte. Andererseits durfte der Weg aber auch nicht zu geringe sein, weil die Wellen wurden schon ziemlich unregelmäßig, wenn er weniger als 6 Linien blieb. Die Größe 2α oder der horizontale Auswurf des Glimmerblättchen stellte sich keineswegs in der einzelnen Erscheinung immer ganz gleichmäßig heraus, es traten vielerorts in Folge der von der einen und der andern Seite zurücklaufenden Wellen immer auffallende Verschiedenheiten ein, durchschschnittlich war aber 2α dem Wege gleich, den die Scheibe machte. Irgendwie groß war auch die Höhendifferenz zwischen dem obern und dem untern Scheitel der Wellen, und letztere oder der Werth β stellte sich nur merklich geringer heraus, wenn die Wassertiefe geringer, als 1 Zoll maas. Der Grund hiervon ist ohne Zweifel in dem verhältnißmäßig viel stärkern Reibung zu suchen, die alsdann dem Wege von der erregenden Scheibe bis zu der Stelle, wo die Messungen gemacht wurden, einen ansehnlichen Theil der lebendigen Kraft bereits zerstört hatte. Dieses Verhältniß zwischen α und β dauerte indessen nur so lange, als die Maschine im Ganzen im Gange war. Sobald die Erregung aufhörte, setzten sich die horizontalen Auswürfe noch einige Minuten hindurch fort, und nahmen sogar übergehend eine weit größere Ausdehnung an. während die Wellenhöhe sich augenblicklich sehr stark verminderte und bemessbar klein wurde.

3. Wellen bei geringer, constanter Tiefe. 67

Die Messung der Geschwindigkeiten der Wellen war sehr unsicher. Ohnfern der Scheibe legte ich beim Vorübergange eines Wellenscheitels nach dem Schlage der Secundenuhr auf die Rinne ein Stäbchen und nach 3, oder zuweilen auch nur nach 2 Secunden ein zweites Stäbchen an die Stelle, wo dieser Scheitel sich alsdann befand. Die nachstehende Tabelle giebt die Mittelzahlen aus je zehn solcher Messungen an und zugleich die nach den beiden obigen Ausdrücken berechneten Werthe der Geschwindigkeiten

Wassertiefe	c beobachtet	$c = \sqrt{2gp}$	$c = \sqrt{3gp}$
1 Zoll	19,3 Zoll	13,4 Zoll	23,7 Zoll
1,5	24,9	16,5	29,0
2	27,8	19,0	33,5
2,5	33,2	21,3	37,5
3	37,7	23,3	41,1

Man bemerkt, daß die beobachteten Geschwindigkeiten jedesmal zwischen die beiden berechneten fallen, daß sie aber namentlich bei den größeren Tiefen sich den letzten Werthen nähern. Die Geschwindigkeit, nach dem Ausdrucke $\sqrt{3gp}$ berechnet verhält sich zu der beobachteten bei den 5 verschiedenen Tiefen, wie

1,23 1,17 1,21 1,13 1,09

zu 1. Die Differenz wird also immer geringer, wie der Einfluß der Reibung sich vermindert, und sonach darf man wohl annehmen, daß dieser Ausdruck für c an sich richtig ist, jedoch die Resultate der Messung nicht scharf wiedergeben kann, weil er die Reibung nicht berücksichtigt.

Scott Russell hat eine sehr große Anzahl von ähnlichen Geschwindigkeits-Messungen angestellt*), die in gewisser Beziehung mit viel größerer Schärfe gemacht sind, als mein Apparat gestattete, die aber unglücklicher Weise die Erscheinung in so verschiedenen Stadien ihrer Entwicklung umfassen, daß man keine befriedigende Resultate daraus ziehen kann. Die von ihm benutzte Wellenrinne war 20 Fuß lang und 1 Fuß breit und hoch. An dem einen Ende befand sich noch ein kleines durch ein Schütz abzuschließendes Bassin, in welchem der höhere Wasserstand dargestellt wurde, der zur Erregung der Wellen diente. Sobald dieses

*) Reports of the British Association for the Advancement of Science. London 1837 und 1844.

Schütz plötzlich geöffnet wurde, so trat die Welle in die Rinne und durchlief diese bis an das hintere Ende. Von hier kehrte sie um, bevor sie aber das Schütz wieder erreichte, mußte dasselbe schon geschlossen sein, so daß die Welle auch von diesem auf Neue zurückgeworfen wurde. In einem Falle wurde der Vorübergang der Welle 68 mal hintereinander beobachtet, so daß ihr ganzer Weg 1360 Fuß betrug. Dazu kommt aber noch, daß Scott Russel die Wellen zuerst immer einige Male hin und herlaufen ließ, ehe er den Vorübergang beobachtete.

Eine optische Vorrichtung wurde benutzt, um durch Reflection des Lichtes den Scheitel sicher zu erkennen, und eine Tertien-Uhr diente zur Zeitbestimmung. Die Höhe der Welle wurde an einigen seitwärts angebrachten Glasröhren beobachtet, in denen jedoch kaum die Erhebung sich vollständig darstellen mochte, da dieselbe Vorrichtung bekanntlich die Schwankungen des Wasserstandes vermindert und daher benutzt wird, um die Pegel von der Einwirkung des Wellenschlages unabhängig zu machen. Nichts desto weniger ließen auch diese Röhren deutlich erkennen, daß die Wellenhöhe nach und nach sich sehr stark verminderte, also die Erscheinung wesentlich ihre Natur änderte.

Im Ganzen wurden 55 Beobachtungsreihen angestellt, und die Anzahl der einzelnen Messungen beläuft sich auf mehr, als 600. Unter diesen wählt Scott Russel 77 aus, bei welchen die Wassertiefen 1 bis $7\frac{1}{4}$ Zoll, und die durchlaufenen Wege 40 bis 240 Fuß maassen. Die Geschwindigkeiten wurden mit sehr wenigen Ausnahmen größer gefunden, als der Ausdruck $c = \sqrt{2gp}$ sie ergiebt. Scott Russel findet, daß diese 77 Beobachtungen an den Werth

$$c = \sqrt{2g(p + \beta)}$$

sich gut anschließen, wo β wieder die halbe Wellenhöhe bedeutet. Dieses ist allerdings annähernd richtig, doch bestätigt sich dieses Gesetz nicht durch die sämtlichen Messungen, auch zeigen dieselben vielfach so auffallende und unerklärliche Differenzen, daß sie wohl nicht als besonders genau angesehen werden können. Eine so große Annäherung an den oben entwickelten Ausdruck, wie meine Messungen ergeben, zeigt sich hier nur sehr selten und ohne Zweifel rührt dieses davon her, daß die Wellen zur Zeit der Beobachtung sich schon sehr geschwächt hatten und β vergleichungsweise gegen α schon sehr klein geworden war.

Wenn man fragt, woher die Bahnen, in welchen die Theilchen der Oberfläche sich bewegen, gleiche vertikale und horizontale Durchmesser haben, so dürfte sich dieses vielleicht dadurch erklären, daß bei der überwiegenden GröÙe der Reibung, welche die Wasserfäden am Boden des Bassins erfahren, die mitgetheilte lebendige Kraft sich um so leichter übertragen kann, je größer der vertikale Durchmesser werden, daß dagegen die Impulse, welche die Wassertheilchen erhalten, und zwar eben sowol wenn dieselben von der Scheibe, als wenn sie vom Winde herrühren, nur horizontal gerichtet sind, und daher auch in vertikaler Richtung keine größere Geschwindigkeit oder keine Ueberhöhung der Bahn veranlassen können.

Diese Bahnen, in denen $\alpha = \beta$ ist, schließen sich sehr nahe der Form des Kreises an. Im obern und untern Scheitel fallen sie mit einem solchen zusammen und an den beiden Seiten ist der Unterschied nur unbedeutend. Um die Abweichungen beider Curven von einander zu übersehn, ziehe man von dem Anfangspunkte der Coordinaten eine Linie, welche sowol die Bahn, als auch den Kreis schneidet. Der Winkel, den sie mit dem Lothe macht, sei gleich φ . Aus dem Punkte, wo sie den Kreis trifft, ziehe man eine zweite Linie nach dem Mittelpunkte des Letzteren. Es bildet sich alsdann ein Dreieck, in welchem man zwei Seiten, nämlich β und γ und den an γ anstoßenden Winkel φ kennt. Hieraus läßt sich die Länge der ersten Linie bis zu ihrem Zusammentreffen mit dem Kreise finden. Ihre Länge bis zur Bahn ist gleich $\sqrt{x^2 + y^2}$, und der Unterschied dieser Längen bezeichnet den Abstand beider Curven in einer Richtung, die zu beiden nahe normal ist.

Man löse die Ausdrücke in unendliche Reihen auf und vernachlässige die höhern Potenzen, so findet man den Abstand beider Curven

$$\beta \sigma \sin \varphi^2 \left[\cos \varphi - \frac{1}{2} \sigma (1 + \cos \varphi^4) \right]$$

Dieser Ausdruck wird ein Maximum, sobald sein Differenzial gleich Null ist, und hieraus ergibt sich

$$\sigma = \frac{3 \cos \varphi^2 - 1}{\cos \varphi (1 - 2 \cos \varphi^3 + 3 \cos \varphi^5)}$$

Ich setze beispielsweise $\sigma = 0,033$, also $\varrho = 0,1$. Die ganze Wellenhöhe ist also dem fünften Theile der Tiefe gleich. Alsdann

treten die positiven Maxima ein, wenn $\varphi = 54^\circ 25' 10''$ und $\varphi = 305^\circ 34' 50''$, und zwar sind sie gleich $0,0124 \cdot \beta$. Die negativen Maxima zeigen sich dagegen, wenn $\varphi = 125^\circ 44' 3''$ und $\varphi = 215^\circ 57''$, und ihr Werth ist $= -0,0132 \cdot \beta$. Die Abweichung trägt also nur etwa $1\frac{1}{2}$ Procent der Länge des Radius. Zeichnet man die Bahn, so scheint sie in der That ein Kreis zu sein. bemerkt die Abweichungen nur, wenn man den richtigen Kreis ebenfalls auszieht.

Größer ist die Verschiedenheit, die sich in Bezug auf die Geschwindigkeit der in der Oberfläche befindlichen Wassertheilchen herausstellt.

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$$

$$= \frac{\beta}{p} c \sqrt{1 - 4\sigma \cos \varphi^2 - (2 \cos \varphi^2 - 10 \cos \varphi^4) \sigma^2 -}$$

und wenn man die höheren Potenzen von σ vernachlässigt

$$v = \frac{\beta}{p} c (1 - 2\sigma \cos \varphi^2)$$

die geringste Geschwindigkeit tritt daher im obern Scheitel ein, sie ist

$$\frac{\beta}{p} c (1 - 2\sigma)$$

und die größte, die im untern Scheitel statt findet, ist

$$\frac{\beta}{p} c (1 + 2\sigma)$$

Wenn σ wieder gleich $0,033$ gesetzt wird, so ist der in die Formel eingeschlossene Factor im ersten Falle $0,933$ und im zweiten $1,067$. Die beiden Extreme verhalten sich also wie

$$1 : 0,88$$

Der mittlere Werth dieser Geschwindigkeit ist

$$v = \frac{\beta}{p} c$$

und derselbe ist um so geringeren Schwankungen ausgesetzt, größer die Wassertiefe vergleichungsweise zur Wellenhöhe ist, je kleiner φ und σ werden.

Die mittlere Angular-Geschwindigkeit ist ferner

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{p}$$

Wenn man in dem obigen Ausdrucke für die Länge der Bahn die höheren Potenzen von σ vernachlässigt, so ist

$$\lambda = \frac{2 \alpha p \pi}{\beta}$$

oder wenn $\alpha = \beta$

$$\lambda = 2 p \pi$$

Für diesen Fall findet man auch

$$c^2 = \frac{2}{3} \frac{g \lambda}{\pi}$$

und

$$\tau = 2 \pi \sqrt{\frac{p}{3 g}}$$

§. 4.

Wellen auf Wasserflächen von gröfserer, jedoch endlicher und constanter Tiefe.

Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich auf die beiden Extreme der Erscheinung, nämlich auf Wellen, die sich bei unendlich großer und bei sehr kleiner Wassertiefe bilden. Die dazwischen liegenden Fälle schlossen sich weder an die eine, noch an die andre unmittelbar an. Wollte man die für kleine Tiefen gefundenen Gesetze auch auf gröfsere anwenden, so würden die Geschwindigkeiten schon bei mäßiger Tiefe sich viel gröfser herausstellen, als sie in der Wirklichkeit je vorkommen. Andererseits können die Wellenbewegungen, die bei unendlicher Tiefe sich darstellen, über einem Boden in endlicher Tiefe nicht eintreten, weil sie unmittelbar über dem letzteren entweder leere, oder überfüllte Räume bilden würden. Indem nun aber die zuerst gefundenen Gesetze, namentlich in Bezug auf Geschwindigkeit und Länge der Wellen sich an die Beobachtungen befriedigend anschliessen, welche bei endlicher und zum Theil sogar bei mäßiger Tiefe gemacht sind, so darf man wohl annehmen, dafs in diesem Falle keine neue, von den bisher untersuchten verschiedene, Art der Bewegung eintritt, vielmehr jene beide sich vereinigen, indem an einer gewissen Stelle eine in die andre übergeht.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Bewegungen beruht in der Art und Weise, wie die Wasserfäden hin- und herschwanken. Bei unendlicher Tiefe steht ihr Fuß unbeweglich an derselben Stelle und sie neigen sich nur abwechselnd nach vorn und nach hinten über. Bei sehr geringer Tiefe behalten sie dauernd die lothrechte

Stellung bei, und bewegen sich gleichmäfsig in ihrer ganzen Höhe hin und her. Bis zu welcher Höhe diese letzte Bewegung noch eintreten kann, läfst sich im Allgemeinen nicht angeben. Scott Russel ist der Ansicht, dafs dieses auch noch auf Schiffahrts-Canälen geschehe, doch lassen seine Mittheilungen dieses nicht näher übersehn. Er nennt die Welle dieser Art „the great primary wave of translation” und legt ihr zunächst die Eigenthümlichkeit bei, dafs sie immer nur einzeln, nie aber in einem ganzen Wellensysteme auftritt. Diese Angabe ist wohl nicht richtig, denn wenn der Impuls zur Wellenbildung auch nur momentan gegeben wird, so bemerkt man doch jedesmal, dafs mehrere Wellen hinter einander auftreten, von denen freilich jede folgende viel schwächer als die vorhergehende ist, weil sie nicht unmittelbar durch den Stofs veranlaßt wurde. Demnächst sagt er, ohne jedoch eine nähere Begründung dafür zu geben, dafs in diesen Wellen die horizontalen Wege der sämtlichen übereinander liegenden Wassertheilchen gleich grofs sind. Es werden zwei hierher gehörige Beobachtungen angeführt, die bei Wassertiefen von 3 und $5\frac{1}{2}$ Fufs angestellt wurden, doch ist die Bezeichnung der Tiefe wieder mangelhaft. Die beobachteten Geschwindigkeiten fallen auch hier zwischen die Werthe, die sich aus den Ausdrücken $\sqrt{2\ gp}$ und $\sqrt{3\ gp}$ ergeben. Interessant ist hierbei aber die Art der Erregung der Wellen. Ein Schnellboot, von Pferden in starkem Trabe gezogen, bildete nämlich die Welle und wenn das Boot plötzlich angehalten wurde, so setzte die Welle allein ihren Weg weiter fort. Scott Russel verfolgte sie einmal eine Englische Meile weit, ehe sie so niedrig wurde, dafs sie nicht mehr deutlich erkannt werden konnte. Besonders wichtig ist die Beobachtung, dafs die Geschwindigkeit des Bootes auf die der Wellen keinen Einflufs hatte. Das Boot wurde nämlich mit den sehr verschiedenen Geschwindigkeiten von 3 bis 10 Englischen Meilen in der Stunde gezogen, und dennoch durchlief die Welle einen dahinter abgesteckten Raum von 700 Fufs Länge jedesmal in $61\frac{1}{2}$ bis $62\frac{1}{2}$ Secunden. Der geringe Unterschied von 1 Secunde war aber nur zufällig, denn es traf sich sogar, dafs gerade bei der gröfsten und der kleinsten Geschwindigkeit des Bootes dieselbe Zwischenzeit gemessen wurde.

Der Uebergang aus einer der vorstehend untersuchten Bewegungsarten in die andre kann natürlich nur da er

4. Wellen bei gröfserer, constanter Tiefe. 73

folgenden, wo die Bewegung der Wassertheilchen an beide sich anschliesst, und er würde sich nicht als unmöglich darstellen, wenn dieser Anschluß auch nicht in aller Strenge, sondern nur annähernd statt fände. Man darf nämlich voraussetzen, daß die lebendige Kraft, welche der Oberfläche des Wassers dauernd mitgetheilt wird, hinreichend ist, um geringe Differenzen auszugleichen. Ausserdem darf man auch nicht unbeachtet lassen, daß die gefundenen Gesetze der Wellenbewegung bei sehr geringen Wassertiefen überhaupt nur als annähernd richtig anzusehn sind.

Wenn nun die letzte Wellenbewegung sich soweit aufwärts fortsetzt, bis die Bahn gleiche horizontale und vertikale Durchmesser hat, sich also dem Kreise sehr nähert, so ergaben sich für die Länge der Welle und für die absoluten und Angular-Geschwindigkeiten der Wassertheilchen, die solche Bahnen durchlaufen, die Näherungswerthe

$$\lambda = 2p\pi$$

$$v = \beta \frac{c}{p}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{p}$$

für die Wellen auf unendlicher Tiefe waren dagegen die entsprechenden Werthe

$$\lambda = 2r\pi$$

$$v = \varrho \frac{c}{r}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r}$$

Die große Uebereinstimmung dieser Ausdrücke leuchtet ein. Der Halbmesser ϱ kann alle Werthe zwischen r und 0 annehmen. In einer gewissen Tiefe ist er also auch gleich β , oder dem Radius derjenigen Bahnen, welche die Wassertheilchen der Oberfläche des untern Systems durchlaufen. Wenn die Höhe dieser Uebergangsschicht über dem Boden oder p dem Radius r gleich ist, von dem bei unendlich tiefem Wasser die Wellenlänge und die Geschwindigkeit der Welle abhängt, so stimmen diese Ausdrücke genau überein. Es bildet sich also bei endlicher Tiefe unmittelbar über dem horizontalen Meeresgrunde dasjenige Wellensystem aus, wobei die Wasserfäden ohne ihre senkrechte Stellung aufzugeben, sich nur hin- und herbewegen, weiter aufwärts neigen sie sich aber abwechselnd

vor und zurück in gleicher Weise, als ob sie sich bis zur unendlichen Tiefe fortsetzten. Das wesentlichste Bedenken, welches sich dieser Auffassung entgegenstellt, bezieht sich augenscheinlich auf die Geschwindigkeit der Wellen, die für beide Systeme in dem Verhältnisse von

$$\sqrt{2} : \sqrt{3} = 9 : 11$$

verschieden sein würde. Nach allen Beobachtungen ist indessen in der Wirklichkeit der Unterschied schon geringer, und scheint sich etwa auf 10 Prozent zu reduciren, insofern die starke Reibung über dem Boden den Fuß der Wasserfäden zurückhält.

In den meisten Fällen, wie sie sich in der Natur darstellen, ist überdies der Radius der Bahnen in dieser Uebergangsschicht sehr klein, die Abweichung kann daher auf die Bewegung im Ganzen wenig Einfluss haben und die geringen Differenzen in der absoluten Geschwindigkeit der betreffenden Wassertheilchen werden durch die starke Bewegung der obern Schichten leicht ausgeglichen. Endlich muß man auch darauf Rücksicht nehmen, daß die Wellenbewegung sich erfahrungsmäßig niemals ganz regelmäÙig gestaltet, und es wäre möglich, daß dieses vielleicht theilweise auch davon herrührt, daß jener Uebergang mit manchen Störungen verbunden ist.

Bezeichnet man nun den Radius der Bahnen in der Uebergangsschicht mit β , und denjenigen in der Oberfläche des Wassers mit ϱ , während r nicht nur wie früher der Radius der kreisförmigen Bahn ist, die durch ihren Umfang die Wellenlänge bestimmt, sondern zugleich die Höhe der Uebergangsschicht über dem Boden des Bassins ausdrückt, so liegt die Uebergangsschicht in der Tiefe

$$r \left(\log. \text{nat.} \frac{r}{\beta} - \log. \text{nat.} \frac{r}{\varrho} \right) = r \cdot \log. \text{nat.} \frac{\varrho}{\beta}$$

unter der Oberfläche des Wassers und ihr Abstand vom Boden ist gleich r . Die ganze Wassertiefe ist daher

$$P = r \left(1 + \log. \text{nat.} \frac{\varrho}{\beta} \right)$$

folglich

$$e^{\frac{P-r}{r}} = \frac{\varrho}{\beta}$$

oder

$$e^{1 - \frac{P}{r}} = \frac{\beta}{\varrho}$$

Wellen bei gröfserer, constanter Tiefe. 75

Wassertiefe und zugleich die Wellenlänge, also auch r ist dadurch schon das Verhältnifs der Radien ϱ und β ihre absoluten Werthe kennt man indessen nicht, und ohne Zweifel von der dem Wasser mitgetheilten lebendigen Kraft ab. Letztere steht unzweifelhaft mit der Geschwindigkeit der Wellen in einer gewissen Beziehung, also auch mit r . Wir könnten die Voraussetzung rechtfertigen, dafs die dem Wasser mitgetheilte Bewegung sich so gestaltet, dafs die lebendige Kraft in der Richtung der Reibung ein Minimum wird. Die Reibung ist zweifach, nämlich einmal entsteht sie durch das Gleiten der Wasserfäden gegen einander, und sodann durch die Reibung, welche der Fufs jedes Fadens längs dem Boden erfährt. Die letzte Reibung ist gänzlich unbekannt, man kann sie nicht in Rechnung stellen, sie ist aber gewifs gegen die erste sehr geringe, weil der Weg, den der Fufs des Fadens zurücklegt, nur sehr klein, auch die Geschwindigkeit sehr geringe ist.

Die lebendige Kraft, wie die Reibung und zwar beides in der Richtung der Wellenlänge für die Wellenbewegung in unendlicher Tiefe ist schon früher angegeben. Bei sehr geringer Tiefe im Fall, dafs die Wasserfäden ihre lothrechte Stellung einnehmen, findet man aber annähernd

$$L = \frac{1}{2} \beta^2 c^2 \pi$$

$$R = 2 k c \beta$$

In den letzten Ausdrücke gelten wieder für eine Wellenlänge L die Tiefen vom Boden aufwärts bis zu derjenigen Schicht, in welcher die Fäden gleiche horizontale und vertikale Durchmesser haben. Wenn man sich die lebendigen Kräfte und die Reibungen auf eine Wassermasse bezieht, so erhält man, wenn man die Bezeichnung wegen der

$$\frac{\varrho}{r} = \varepsilon$$

$$\frac{\beta}{\varrho} = n$$

$$\frac{\beta}{r} = \varepsilon n$$

man die Reibung

$$R = \frac{1}{2} k c r (s^2 - n^2 s^2 + \frac{1}{2} \pi \varepsilon)$$

$$L = c^2 r^2 \pi (s^2 + \frac{1}{2} \pi^2 \varepsilon^2)$$

folglich

$$\frac{R}{L} = \frac{2k}{3cr\pi} \cdot \frac{2(1-n^2)s^2 + 9n}{(3+n^2)s}$$

In diesem Ausdrucke ist nur s unbekannt, man muß denselben also in Bezug auf diese GröÙe differenziren und das Differential gleich Null setzen, dadurch erhält man

$$s = 3 \sqrt{\frac{n}{2(1-n^2)}}$$

oder wenn man für s seinen Werth einführt, so folgt

$$\varrho = \frac{3r}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{n}{1-n^2}}$$

n ist aber bereits bekannt, nämlich

$$n = e^{1 - \frac{P}{r}}$$

Man findet endlich noch

$$\beta = \varrho \cdot e^{1 - \frac{P}{r}}$$

Um die Rechnung nach diesen Formeln zu erleichtern, ist der mehrfach erwähnten Abhandlung in den Schriften der Akademie zwei Tabellen beigelegt, von denen die erste für die verschiedenen Werthe von $\frac{r}{P}$ die entsprechenden Werthe von $\frac{\varrho}{P}$ und $\frac{\beta}{P}$ enthält. In der zweiten dagegen ist $\frac{\varrho}{P}$ als Argument angenommen und die Tabelle giebt die entsprechenden Werthe von $\frac{r}{P}$ und $\frac{\beta}{P}$ an.

Die mittlere Wassertiefe der Ostsee mißt ungefähr 35 Faden,
 $P = 210$ Fußs.

Wenn sich auf derselben Wellen von 6 Fuß Höhe bis so ist

$$\varrho = 3 \text{ Fußs}$$

also

$$\frac{\varrho}{P} = 0,01430$$

Hieraus ergiebt sich durch unmittelbare Rechnung, oder nach Tabelle

$$\frac{r}{P} = 0,14077$$

und

$$\frac{\beta}{P} = 0,000032$$

Die Uebergangsschicht liegt sonach über dem Boden in der
 $r = 29,562$ Fußs

Wellen bei grösserer, constanter Tiefe. 77

ist $\beta = 0,00672$ Fufs
nicht eine Linie. Der Weg, den der Fufs des Wasser-
schläuft, misst also etwa nur 2 Linien. Ausserdem fin-

$$\lambda = 185,74 \text{ Fufs}$$

$$c = 30,408 \text{ Fufs}$$

$$\tau = 6,110 \text{ Secunden.}$$

bereits erwähnten Beobachtungen, die in der Bai von Ply-
gestellt sind, schliessen sich an diese Rechnung nicht an,
rührt ohne Zweifel davon her, dass die Wellen auf der
Tiefe, wo sie gemessen wurden, nicht entstanden, viel-
tieferem Wasser hier eingelaufen waren. Ganz dasselbe
bei einer der in der Nähe von Swinemünde im frischen
nachten Messung der Fall. Letztere schliesst sich den
den Gesetzen jedoch an, wenn die Tiefe, die daselbst nur
etrag, um die Hälfte vergrößert wird. Die beobachteten
efen bei dem südlichen Winde aber auch in der That von
tieferen Wasserflächen hier auf.

andere Beobachtungen, die der Lootsen - Commandeur
stellte, stimmen dagegen mit den vorstehenden Gesetzen
überein. In der ersten war

$$P = 18 \text{ Fufs}$$

$$\varrho = 0,875 \text{ Fufs}$$

$$c = 10,309 \text{ Fufs.}$$

ergibt sich

$$r = 3,3994$$

$$\frac{r}{P} = 0,1888$$

aus findet man

$$\frac{\varrho}{P} = 0,0468$$

$$\varrho = 0,8428$$

r genau übereinstimmend mit der beobachteten durchschnitt-
alben Wellenhöhe. Endlich findet man noch

$$\beta = 0,0119 \text{ Fufs oder } 1\frac{1}{4} \text{ Linien.}$$

zweite Messung wurde an einer Stelle gemacht, wo die
deutend grösser war.

$$P = 27 \text{ Fufs}$$

$$c = 12,121 \text{ Fufs}$$

$$\varrho = 1 \text{ Fufs.}$$

Man findet aus dem Werthe für c

$$r = 4,6993$$

folglich

$$\frac{r}{P} = 0,1740$$

und daraus

$$\frac{q}{P} = 0,0355$$

daher

$$q = 0,9585$$

Schliesslich muss ich in Betreff der von mir mittelst der Rinne angestellten Messungen noch erwähnen, dass q grösser werden kann, als r . Beide Radien sind einander gleich, wenn sie, durch die Wassertiefe P dividirt, den Werth 0,397 nehmen. Hieraus folgt, dass auf Wasserflächen von geringer Tiefe die ganze Wellenhöhe äussersten Falles nur $\frac{4}{10}$ der Wassertiefe betragen kann, wenn noch das vortheilhafteste Verhältniss zwischen der lebendigen Kraft und der Reibung sich darstellen soll. Da nun der Werth von $\frac{\beta}{P}$ ist aber 0,08743. Der Weg, den ein Fuss des Wasserfadens auf dem Boden durchläuft, kann daher derselben Voraussetzung nicht grösser, als der zwölfte Theil der Wassertiefe sein. Bei meinen Beobachtungen wurde diese letztere Bedingung augenscheinlich nicht erfüllt, weil die Bewegung, die der Scheibe gab und geben musste, um höhere Wellen darzustellen schon viel grösser war. Die Resultate dieser Beobachtungen können daher nicht zu dem hier untersuchten Falle, der sich auf das gleichzeitige Auftreten beider Wellensysteme bezieht. Sie zeigen die Erscheinung nur in der Art, wie sie unterhalb der Uebergangsschicht vorgeht. Die Wellenperiode maass bei meinen Beobachtungen jedesmal ungefähr 1 Secunde, wenigstens niemals bedeutend weniger. Die Gesetze, welche für unendliche Wassertiefen oder für die oberhalb der Uebergangsschicht gebildeten Wellen gelten, geben nun für $\tau = 1$

$$r = \frac{g}{2\pi^2} = 9,5 \text{ Zoll}$$

Der Wasserstand in der Rinne, der äussersten Falles nur $3\frac{1}{2}$ Zoll trug, hätte also die Höhe von mehr als $9\frac{1}{2}$ Zoll haben müssen, um zugleich die erste Art der Wellenbewegung oder das Uebergehen von der obern Theile der Wasserfäden zu zeigen.

§. 5.

Wellen auf ansteigendem Grunde.

Die Schwierigkeiten, denen man schon in der Untersuchung der Wellenbewegung bei endlicher, aber constanter Tiefe begegnet, vergrößern sich in hohem Grade, wenn man zu denjenigen Wellen übergeht, die Untiefen antreffen und gegen die Ufer laufen. Die Kenntniß der Gesetze, welche die Bewegung und Wirkung dieser Wellen bedingen, ist indessen beim See- und Hafenbau besonders wichtig. Es kommt also darauf an, die Erfahrungen, die über sie gemacht sind, zu sammeln, und soweit es geschehn kann, auch zu erklären.

In der Nähe der Ufer oder auf den Untiefen vor denselben bilden sich niemals neue Wellen von bedeutender Gröfse, weil es hier an den dazu erforderlichen Kräften fehlt. Die Wellen, die man auflaufen und brechen sieht, haben ihren Ursprung in der offenen See. Von dort aus setzen sich die obern Scheitel vermöge des Druckes, den sie auf die nächsten Wasserfäden ausüben, über diejenigen Flächen fort, die weniger tief unter Wasser und zum Theil sogar über Wasser liegen. Das Letztere geschieht namentlich auf dem Strande, oder der flachen Sandablagerung, die sich nicht nur vor niedrigen, sondern häufig selbst vor hohen Ufern hinzieht.

Bei dieser Uebertragung der Bewegung darf eine Zerstörung der lebendigen Kraft nicht vorausgesetzt werden, wenn man von der Reibung absieht und wenn die Welle nicht etwa bricht oder brandet. Ein Wasserfaden, der durch eine steile Klippe in seiner ganzen Höhe oder nur theilweise am Ausschwingen verhindert wird, erleidet an allen Stellen, wo seine Bewegung gehemmt ist, einen verstärkten Druck, der nicht ohne Wirkung bleiben kann. Indem die einzelnen Wassertheilchen seitwärts nicht ausweichen können, so bewegen sie sich nach der freien Oberfläche, oder die Welle erhebt sich zu gröfserer Höhe und wirkt demnach um so stärker auf die folgenden Fäden. Wirkliche Stöße, welche die lebendige Kraft theilweise zerstören, finden bei dieser Uebertragung der Bewegung nicht statt.

Indem die einzelnen Wellen in der offenen See entstehn und ihre Periode den dortigen Verhältnissen entspricht, so ergiebt sich,

dafs diese Wellen bei ihrer Annäherung an das Ufer und b
Auflaufen auf den Strand auch in denselben Zwischenzeit
einander folgen müssen. Nach den früheren Untersuchungen
bei constanter und zwar geringer Wassertiefe die Periode der W
len der Quadratwurzel ihrer Länge proportional. Dieses Ges
verliert im vorliegenden Falle seine Gültigkeit. Indem die Geschw.
digkeit der Wellen sich aber vermindert, so rücken ihre Schei
bei der gleichen Periode näher an einander, oder ihre Längen w
kürzen sich. Es ergibt sich hieraus, dafs die Erscheinungen weg
ihrer unvollständigen Ausbildung viel complicirter werden. Bei ihr
grofsen Wichtigkeit rechtfertigt sich indessen der Versuch, ihr
Zusammenhang mit den obigen Gesetzen wenn auch nur in einse
nen Beziehungen nachzuweisen.

Zunächst werde vorausgesetzt, dafs der Grund vor dem Uf
sich stufenförmig erhebt, und dafs jede Stufe solche Ausdehnun
hat, dafs die Welle, während sie darüber läuft, diejenige Geschwin
digkeit annimmt, welche der jedesmaligen constanten Tiefe ent
spricht. Die Annahme, dafs die lebendige Kraft der Welle sich
nicht vermindert, ist bereits erörtert. Diese beiden Bedingungen
genügen indessen noch nicht, um die nach und nach eintretenden
Modificationen der Erscheinung festzustellen, man mufs vielmehr
noch die dritte Voraussetzung einführen, dafs dabei stets solche Wel
len sich bilden, in welchen die Reibung der Wassertheilchen ge
gen einander vergleichungsweise zur lebendigen Kraft ein Mini
mum bleibt.

Unter Beibehaltung der früheren Bezeichnung hat man alsdann
die Bedingungsgleichungen

$$\frac{\beta}{\varrho} = e^{1 - \frac{P}{r}} = n$$

$$L = 2 g \pi r \varrho^2 (1 + \frac{1}{2} n^2)$$

und

$$\varrho = \frac{3r}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{n}{1 - n^2}}$$

Indem nun, wie vorausgesetzt, L constant ist, so kann man

$$r \varrho^2 = (1 + \frac{1}{2} n^2) = K$$

setzen. Hieraus ergibt sich

$$r = \frac{K}{\varrho^2 (1 + \frac{1}{2} n^2)} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\frac{1 - n^2}{n}}$$

und folglich

$$\rho^3 = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{K}{1 + \frac{1}{2}n^2} \cdot \sqrt{\frac{n}{1 - n^2}} \quad . \quad . \quad . \quad A$$

Der ersten Bedingungsgleichung erhält man aber auch noch Ausdruck

$$\frac{P}{r} = 1 - \log. \text{ nat. } n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad B$$

Die beiden Gleichungen genügen, um alle Bestimmungsstücke Wellen zu berechnen, sobald P und K bekannt sind. Die Rechnung läßt sich aber nicht direct, sondern nur versuchsweise ausführen und am einfachsten geschieht dieses, wenn man für n verschiedene willkürliche Werthe annimmt. Die Gleichung A ergibt als direct die GröÙe ρ und folglich auch β , und die Gleichung B zur Bestimmung von r . Die betreffenden GröÙen c , λ und τ alsdann aus r herzuleiten, da

$$c = \sqrt{2gr}$$

$$\lambda = 2\pi r$$

$$\tau = \frac{\lambda}{c}$$

Beispielsweise werde die am Schlusse des vorigen Paragraphen getheilte Beobachtung zum Grunde gelegt, wonach

P oder die Wassertiefe gleich 27 FuÙs und

ρ oder die halbe Wellenhöhe gleich 1 FuÙs ist.

Daraus findet man nach den in § 4 entwickelten Ausdrücken

r oder den Radius desjenigen Kreises, dessen Umfang der Wellenlänge gleich ist, gleich 4,7884 FuÙs,

β oder die Hälfte des Weges, den der vertikale Theil des Wassersfadens hin und her durchläuft, gleich 0,00967 FuÙs,

c oder die Geschwindigkeit der Welle 12,235 FuÙs,

λ oder die Länge der Welle 30,086 FuÙs,

τ oder die Periode der Welle 2,4591 Secunden,

$n = \frac{\beta}{\rho}$ ist gleich 0,00967 und endlich

K gleich 4,7886.

Um die Aenderungen darzustellen, welche die Welle erleidet, während sie nach und nach auf Wasserflächen von geringerer Tiefe tritt, so sind in der umstehenden Tabelle für die GröÙe n verschiedene Werthe angenommen, und es ergeben sich daraus die übrigen Bestimmungsstücke

n	ρ	β	r	P	c	λ	τ
0,01	1,005	0,010	4,74	26,56	12,17	29,77	2,45
0,02	1,128	0,022	3,76	18,47	10,84	23,63	2,18
0,03	1,207	0,036	3,28	14,80	10,13	20,64	2,04
0,04	1,266	0,051	2,98	12,59	9,66	18,75	1,94
0,05	1,314	0,066	2,77	11,07	9,31	17,41	1,87
0,06	1,355	0,081	2,61	9,97	9,04	16,42	1,82
0,07	1,390	0,097	2,48	9,08	8,81	15,58	1,77
0,08	1,421	0,114	2,37	8,37	8,61	14,91	1,73
0,09	1,449	0,130	2,28	7,78	8,45	14,35	1,70
0,10	1,474	0,147	2,20	7,25	8,29	13,80	1,66
0,15	1,576	0,236	1,91	5,55	7,74	12,03	1,55
0,20	1,651	0,330	1,73	4,52	7,36	10,89	1,48
0,25	1,712	0,428	1,60	3,82	7,06	10,06	1,42

Aus dieser Zusammenstellung ersieht man zunächst, daß bei abnehmender Wassertiefe die Wellenhöhe sich vergrößert. Dies bestätigt die Erfahrung. Sodann bemerkt man, daß die Werthe von β , also die Schwingungen der untern, oder der vertikalen Theile der Wasserfäden sich gleichfalls vergrößern. Dieses muß auch bedingt geschehn, weil bei einer gewissen Tiefe das obere Wellensystem ganz verschwindet oder der ganze Faden seine lothrechte Stellung stets beibehält. In diesem Falle wird β gleich ρ .

Ferner vermindert sich r sehr bedeutend und hieraus ergibt sich unmittelbar, daß auch die Geschwindigkeit, die Länge und Periode der Wellen sich vermindern muß. Die Veränderung der Periode tritt indessen nicht ein, weil man, wie bereits erwähnt, die diejenigen Wellenscheitel sieht, die aus der offenen See kommen und die also in denselben Zwischenzeiten, in welchen sie dort auf einander folgen, auch auf den Strand auflaufen. Wegen der verminderten Geschwindigkeit treten aber diese Scheitel näher an einander oder die Längen der Wellen vermindern sich.

Wollte man wegen der gleichen Zwischenzeiten die Bedingung einführen, daß die Wellen auf den verschiedenen Wassertiefen dieselbe Periode oder denselben Werth von τ beibehalten und dies entsprechend sich ausbilden, so würde hieraus unmittelbar folgen, daß auch die Geschwindigkeiten und die Längen der Wellen, zugleich die Abstände je zweier Scheitel dieselben bleiben. Dies ist beim Auflaufen der Wellen auf Untiefen oder auf den Strand augenscheinlich nicht der Fall. Auch in Beziehung auf die Well

höhe entspricht diese Voraussetzung nicht der wirklichen Erscheinung. Wenn man nämlich die Bedingung einführt, daß die lebendige Kraft und die Periode, also K und τ , folglich auch r , unverändert bleiben, so ergibt die Rechnung, daß bei Abnahme der Wassertiefe P auch ρ oder die Wellenhöhe sich verkleinert, während die Erfahrung das Gegentheil zeigt.

Wahrscheinlich bildet sich jede Welle, welche auf eine Wasseroberfläche von geringerer Tiefe getreten ist, dieser letzteren entsprechend vollständig aus. Der Scheitel, den sie hinter sich aufwirft, ist aber, wie bei einmaliger Erregung von Wellen immer geschieht, viel niedriger, als der erste war. Indem nun diesem neuen Scheitel in sehr kurzer Zwischenzeit eine hohe Welle aus der offenen See folgt, so bemerkt man gar nicht jenen zweiten oder secundären Scheitel. Diese Betrachtung zeigt wieder, daß die Wellenerscheinung bei variabler Tiefe höchst complicirt wird, weil darin verschiedene und von einander ganz unabhängige, aber in ihren Wirkungen gleich kräftige Wellensysteme auftreten, die sämmtlich auf das Phänomen gleichen Einfluß haben, und dieses daher auf einfache Gesetze nicht mehr zurückführen lassen.

Sehr wichtig ist ferner die Frage, wie weit eine Welle auflaufen kann, bevor die Brandung oder das Ueberneigen des Wellenscheitels beginnt. So lange dieses nicht geschieht, kehrt jeder Wasserfaden, ohne daß sein Zusammenhang unterbrochen wird, nach einer vollen Wellenperiode wieder in seine frühere Stellung zurück. Dazu ist aber erforderlich, daß das Durchflußprofil unter dem untern Wellenscheitel noch hinreichende GröÙe hat, damit die zur Darstellung der folgenden Welle erforderliche Wassermenge hindurch dringen kann. Bei dieser Untersuchung darf man sich unbedenklich auf das in § 3 behandelte Wellensystem beschränken, das für mäÙige Tiefen gilt, oder in welchem die Wasserfäden in ihrer ganzen Höhe unter Beibehaltung der lothrechten Stellung nur hin- und herschwanken.

Die Welle bewegt sich, wenn die Tiefe dieselbe bleibt, unter vollständiger Beibehaltung ihrer Form mit der constanten Geschwindigkeit c . Die Wassermenge, die sie braucht, um ihre vordere Böschung darzustellen, ist zwar zum Theil auch von der Geschwindigkeit abhängig, womit die einzelnen Wasserfäden sich horizontal bewegen. Diese Geschwindigkeit ist aber vergleichungsweise zu der

der Welle sehr klein, und außerdem im obern Scheitel positiv, im untern negativ und in der Mitte zwischen beiden gleich Null. Wenn es daher nur auf die Berechnung der zur vorderen Böschung der Welle hinzutretenden Wassermasse ankommt, so heben sich die verschiedenen Geschwindigkeiten der betreffenden Wasserfäden annähernd auf, und es genügt, diese Wassermenge allein aus der Bewegung der Welle herzuleiten. In einer Secunde durchläuft die Welle den Weg c , und da sie ihre Form beibehält, so thut dieses auch jeder einzelne Punkt der Wellenlinie. Setzt man die Breite der Welle gleich 1, so muß in jeder Secunde eine Wassermenge zufließen, die einer Fläche gleich ist, deren Breite von oben bis unten c , und deren Höhe gleich der ganzen Wellenhöhe oder 2β ist. Die Wassermenge, welche durch das kleinste Profil tritt, ist daher

$$2\beta c = 2cPq$$

Das Profil hat die Breite 1 und seine Höhe ist

$$P - \beta + \gamma$$

Indem es darauf ankommt, das Verhältniß der Tiefe zur Wellenhöhe darzustellen, so empfiehlt es sich, alle Größen durch

$$q = \frac{\beta}{P}$$

auszudrücken. Unter Einführung der in § 3 für γ und σ gefundenen Werthe verändert sich der Ausdruck für das Profil in

$$P(1 - q + \frac{1}{3}q^2)$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher der untere Scheitel der Wellenlinie sich gegen das Wasser bewegt, ergibt sich am deutlichsten, wenn man die Welle als eine stehende ansieht. Die gesammte Wassermasse wird alsdann in Bewegung gedacht und zwar so, als ob sie mit der Geschwindigkeit c der Richtung der Wellen entgegengezogen würde. In derselben Richtung bewegen sich aber auch an sich die im untern Scheitel der Welle befindlichen Wasserfäden. Ihre Geschwindigkeit ist gleich v , also relativ gegen die Bewegung der Welle

$$c + v$$

Führt man nun den obigen Ausdruck für v , nämlich

$$v = \frac{c\beta}{P} \cdot \frac{\cos \varphi (1 + \sigma \cos \varphi)}{1 + 3\sigma \cos \varphi + 3\sigma^2 \cos^2 \varphi}$$

ein, und berücksichtigt dabei, daß für den untern Scheitel $\varphi = \pi$,

auch daß die Geschwindigkeit bereits rückwärts oder negativ gemessen wird, so folgt

$$v = \frac{c\beta}{P} \cdot \frac{1 - \sigma}{1 - 3\sigma + 3\sigma^2}$$

also durch Einführung der Größe ϱ

$$v = c\varrho \cdot \frac{1 - \frac{1}{3}\varrho}{1 - \varrho + \frac{1}{3}\varrho^2}$$

daher die ganze relative Geschwindigkeit

$$c + v = \frac{c}{1 - \varrho + \frac{1}{3}\varrho^2}$$

Diese Geschwindigkeit muß nun an der gesuchten Grenze gleich sein der Wassermenge dividirt durch das Profil, also

$$\frac{2c\varrho}{1 - \varrho + \frac{1}{3}\varrho^2} = \frac{c}{1 - \varrho + \frac{1}{3}\varrho^2}$$

folglich

$$\varrho = \frac{1}{3}$$

oder

$$\beta = \frac{1}{3} P$$

Die regelmäßige Wellenbewegung kann also nur erfolgen, wenn die Wassertiefe nicht kleiner ist, als die ganze Wellenhöhe. Es muß daran erinnert werden, daß am Schlusse von § 4 eine noch etwas engere Grenze gefunden wurde, nämlich

$$\beta = 0,4 \cdot P$$

Dabei war jedoch die Bedingung gestellt, daß die Reibung vergleichungsweise zur lebendigen Kraft ein Minimum bleiben solle.

Wendet man das hier gefundene Resultat wieder auf jenes obige Beispiel an, indem die lebendige Kraft dieser Wellen

$$L = \frac{1}{3} \beta^2 c^2 \pi$$

oder genauer

$$L = \frac{1}{3} \beta^2 c^2 \pi (4 + 5 \cdot \sigma^2)$$

dem für dieses Beispiel gefundenen Zahlenwerthe

$$L = 2g\pi \cdot 4,7886$$

gleich gesetzt wird, und außerdem für β und σ die betreffenden Werthe, nämlich

$$\beta = \frac{1}{3} P$$

und

$$\sigma = \frac{1}{3} \beta = \frac{1}{9} P$$

eingeführt werden, so findet man

$$P = 2,031 \text{ Fuß.}$$

Bei dieser Wassertiefe kann sich sonach jene Welle nur so

eben noch ausbilden und bei geringerer Tiefe wird sie schon brechen. Obwohl in dieser Beziehung, soviel bekannt, noch keine Beobachtungen angestellt sind, so dürfte das vorstehende Resultat, welches sich nur auf sehr mäßige Wellen bezieht, sich annähernd an die Erfahrung anschließen.

Die eigenthümlichen Erscheinungen, die jenseits der gefundenen Grenze, also bei geringeren Wassertiefen eintreten, lassen sich im Allgemeinen leicht übersehn. Die Wasserfäden können, nachdem ein Wellenkamm vorübergegangen ist, nicht vollständig an ihre frühere Stelle zurückkehren. Der folgende Kamm findet daher nicht die Wassermasse vor sich, durch welche seine vordere Dossirung sich vollständig ausbilden könnte. Diese gestaltet sich also steiler, als die hintere, und wenn ein solcher Unterschied auch schon im offenen Meere in Folge der Einwirkung des Windes in geringem Maasse vorhanden zu sein scheint, so stellt er sich doch hier viel auffallender heraus. Die vordere Böschung nimmt nunmehr sogar eine lothrechte Richtung an, und endlich tritt der Kopf der Welle darüber noch hervor, und stürzt, indem ihm jede Unterstützung fehlt, herab. Dieses ist die Brandung, die aber noch durch einen andern Umstand befördert wird.

Der unvollständige Rücklauf des Wassers veranlaßt eine Anhäufung desselben vor dem Ufer. Eine solche tritt in der That jedesmal bei heftigen Winden ein, die gegen das Ufer gerichtet sind. Bei starken Stürmen beträgt sie sogar, wie die Wasserstands-Beobachtungen ergeben, bis 3 und 4 Fufs. Man muß daher wohl annehmen, daß der Druck des Windes gegen die Wellen schon in weiter Entfernung vom Ufer den regelmässigen Rücklauf der einzelnen Wasserfäden einigermaassen verhindert. Jedenfalls geschieht dieses vorzugsweise da, wo, abgesehn von der Wirkung des Windes, die lebendige Kraft der Welle eine so starke Erhebung des obern und Senkung des untern Scheitels bedingt, daß die Wassermasse schon aus diesem Grunde nicht in ihre frühere Stelle wieder gelangen kann. Jede Welle würde demnach vor dem Ufer den Wasserstand immer mehr erhöhen, aber hierdurch bildet sich sehr schnell ein Gegendruck, der das Gleichgewicht wieder herstellt. Das aufgetriebene Wasser strömt nach jeder Welle sehr heftig wieder zurück. Auf dem flachen Strande kann man dieses deutlich sehn; man bemerkt auch, daß diese Strömung den groben Sand und selbst

kleine Steinchen mit sich fortreißt. Die nächste Welle unterbricht freilich auf dem sichtbaren Strande diese Strömung, doch setzt sich die letzte auch unter Wasser fort, und indem hier die Wellenbewegung geringer, als an der Oberfläche ist, so wird der seewärts gerichtete Strom, der nahe über dem Grunde sich bildet, von den Wellen, denen er begegnet, weniger unterbrochen. Er führt alle Gegenstände, die wenig schwerer als das Wasser sind, also nicht fest auf dem Grunde liegen, der See zu. Diese Erscheinung wird von den Strandbewohnern der Ostsee der Sog (das Saugen) genannt, und veranlaßt vorzugsweise die Gefahr beim Baden während eines hohen Seeganges, indem die Füße immer stark seewärts gezogen werden.

Diese untere Strömung übt aber auch auf die anrollenden Wellen eine auffallende Wirkung aus, indem sie die vordringenden Wasserfäden in ihren untern Theilen zurückhält, und dadurch den ganzen Kamm gegen das Ufer neigt, und sein Ueberstürzen oder sein Branden befördert. Der Strom wird indessen beim Begegnen mit einer Welle sehr verzögert, und da bei der Regelmäßigkeit der Wellen dieses Begegnen immer in bestimmten Zwischenzeiten, folglich auch an denselben Stellen geschieht, so bildet sich dadurch eine eigenthümliche Gestaltung des Grundes. Auf dem Strande selbst reißt jede aufrollende Welle den Sand so wie auch kleinere Steinchen mit sich und wirft sie auf das Ufer. Das zurücklaufende Wasser spült aber diese so eben abgelagerten Körnchen wieder fort, und so befindet sich die Oberfläche der sanft geneigten Ebene oder der eigentliche Strand, wenn derselbe auch jedesmal dieselbe Form wieder annimmt, dennoch in fortwährender Bewegung, wie man dieses beim Auflaufen der Wellen sehr deutlich sieht. Die Böschung darf jedoch nicht steil ansteigen, sonst bilden sich darin stufenförmige Absätze, weil der Stoß der Welle sie an einer oder der andern Stelle zu heftig trifft. Eine solche steile Begrenzung der Stufen wird besonders stark angegriffen und rückt sehr schnell weiter vor, oder das Ufer bricht ab. Die Neigung eines nicht abbrechenden Strandes ist wohl immer flacher, als 1 : 10. Gewöhnlich und namentlich bei heftigen Stürmen, wenn hohe und lange Wellen auflaufen, wird dieselbe aber noch bedeutend geringer und nimmt bis 1 : 20 auch wohl darüber ab.

Diese sanft geneigte Fläche hat solche Breite, daß auf ihr

kein Zusammenstoß einer neuen Welle mit dem zurücklaufenden Wasser der vorigen statt findet. Wo ein solcher erfolgt, bildet sich jedesmal eine Stufe, oder hier beginnt erst der Strand, und wenn diese Grenze nicht weit genug von dem steiler ansteigenden Ufer entfernt ist, so wird Letzteres zerstört.

Wo der rücklaufende Strom der neuen Welle begegnet, wird er plötzlich unterbrochen und in Folge dessen läßt er den Sand und Kies, den er mit sich führte, fallen. Von hier ab hat das Wasser eine größere Tiefe und wenn daher die seewärts gerichtete Strömung nach dem Vorübergange jeder Welle sich auch wieder neu bildet, oder vielleicht nur verstärkt, so bleibt sie doch schwächer, als sie am Fusse des Strandes war, und hier sammelt sich daher das gröbste Material an. Bei mäßigem Wellenschlage bemerkt man diese Erscheinungen sehr augenfällig. Der erwähnte Zusammenstoß erfolgt jedesmal etwas unter dem untern Scheitel der auflaufenden Welle. Indem nun aber die Höhe der Wellen nach der Stärke und Richtung des Windes sehr verschieden ist, auch der Wasserstand, selbst in denjenigen Meeren, wo keine merkliche Fluth und Ebbe statt findet, sich vielfach ändert, so erklärt es sich, daß der Strand bei jedem Sturme sich anders gestaltet. Die Abbrüche und Ablagerungen erfolgen immer in der Art, daß sie nach den jedesmaligen Verhältnissen einen dauernden Zustand endlich herbeiführen, doch kann dieses nur geschehn, wenn das höhere Ufer hinreichend weit zurückliegt und andererseits auch die Wassertiefe seewärts nicht so schnell zunimmt, daß auf der steil abfallenden Fläche alle Sandkörnchen herabrollen.

Man bemerkt leicht, daß eine solche Ausbildung des Strandes nur möglich ist, wenn das Ufer aus Sand oder Kies besteht. Thon- oder Moorboden und eben so vegetabilische Erde, und selbst Kreide, werden nachdem die Ablösung vom Ufer erfolgt ist, durch den Stoß der Wellen so fein zertheilt, daß die Masse bei der starken Bewegung gar nicht zu Boden sinkt, also weder einen Strand, noch auch eine steile oder flache Dossirung bildet. Nichts desto weniger sind diese feinen Theilchen specifisch schwerer, als das Seewasser. Wenn daher Letzteres durch sie auch getrübt wird, so schweben sie vorzugsweise in der Nähe des Grundes, und der rücklaufende Strom führt sie in die Tiefe hinab, von wo sie in Folge der geringen Wellenbewegung über dem Grunde nie wieder an das

Ufer zurückkehren. Hierdurch erklärt es sich, weshalb es so überaus schwierig ist, ein thoniges Ufer selbst bei grosser Festigkeit gegen Abbruch zu schützen. Wenn man nicht eine vollständige und sehr solide Uferdeckung davor ausführen will, so bleibt nur übrig, auf Ablagerung grosser Sandmassen vor demselben hinzuwirken und sonach künstlich ein Sandufer zu schaffen.

Dafs die vorstehend bezeichneten Bewegungen der Sand- und Kies-Körnchen wirklich in dieser Weise erfolgen, ergiebt sich besonders augenfällig, wenn man in der Wellenrinne eine Sanddosierung darstellt, und die Wellen dagegen schlagen läfst. Ich bildete zuerst eine flache Böschung, die im Verhältnisse von 1:2,5 gegen den Horizont geneigt war, und hing zwischen den Glasscheiben der Rinne das Glimmerblättchen in solcher Höhe auf, dafs es ohne den Sand zu berühren frei ausschlagen konnte. Hierbei zeigte sich sogleich die auffallende Verschiedenheit gegen die frühere Erscheinung, dafs das Blättchen nicht mehr seine lothrechte Stellung behielt, vielmehr, wenn es von der Welle fortgestossen wurde, sich sehr stark nach vorn überneigte. Hierdurch bestätigt es sich, dafs das aufgetriebene Wasser unter den folgenden Wellen nahe über dem Grunde zurückfliesst.

Sodann wurde die Böschung jedesmal etwa in der Höhe des mittleren Wasserstandes sehr heftig angegriffen. Grosse Sandmassen folgten der Richtung der Welle, aber das zurückfliessende Wasser führte diese, so wie die oberwärts gelösten Körnchen wieder fort und lagerte beide unterhalb der Stelle ab, wo die ersteren früher gelegen hatten. So bildete sich eine flach geneigte Ebene, die anfangs sehr schnell, später jedoch nur in geringem Maasse sich weiter ausdehnte, und endlich, wie es schien, sich nicht mehr veränderte. Dieselbe befand sich jedoch noch keineswegs im Zustande der Ruhe, vielmehr wurden sämtliche Körnchen in der Oberfläche von jeder anrollenden Welle in deren Richtung fortgerissen, aber von dem später zurückfliessenden Wasser wieder abwärts geführt und zwar soweit, bis die folgende Welle diesem Strome begegnete. Bis hieher erstreckte sich also die neue Ablagerung, und darunter lagerte sich der Sand so steil, wie er überhaupt unter Wasser sich lagern kann. Es stürzten freilich jedesmal eine Menge Sandkörnchen auch hier herab, aber sie wurden stets von der nächsten Welle wieder zurückgeführt, ehe sie die Böschung berührten. Eine

Ausnahme hiervon trat nur wiederholentlich in der ersten Zeit ein, so lange die flach geneigte Ebene noch nicht die nöthige Ausdehnung angenommen hatte. Der Sand, der an ihrem obern Ende abbrach, lagerte sich hinter der erwähnten scharfen Kante, und hier wurde die Böschung nach und nach immer steiler, so daß sie endlich sich nicht mehr erhalten konnte, und plötzlich in großen Massen herabstürzte. Hierdurch rückte die Ablagerung etwas weiter gegen das tiefe Wasser vor, doch blieb sie immer im Zusammenhange, und ich konnte nicht bemerken, daß auch nur ein einziges Körnchen weiter gerollt wäre, als bis es in der nunmehr etwas flacheren Böschung ein sicheres Lager gefunden hatte.

Wenn die Ablagerung unterhalb der erwähnten flach geneigten Ebene sehr steil war, so rifs die dagegen stossende Welle auch von ihr eine Menge Sandkörnchen ab, die sie aufwärts führte: ich konnte jedoch nicht bemerken, daß jemals eines derselben auf jene Ebene sich lagerte, vielmehr blieb dieser Sand, so wie derjenige, den der Strom herabführte, im Wasser schweben oder fiel auf die äussere Böschung nieder.

Diese Beobachtung ergab sonach, daß die Sandkörnchen nicht gehoben, sondern bei der Veränderung der Böschung nur abwärts getrieben wurden. Ich muß jedoch erwähnen, daß der Sand ganz rein ausgewaschen und ziemlich grob war, woher es allerdings denkbar ist, daß bei stärkerer Wellenbewegung selbst dieser Sand und noch mehr ein feinerer aufwärts getrieben werden mag. Dieses ist in sofern auch wahrscheinlich, als kleine Stückchen Wachs, die ich durch eingedrückte Sandkörnchen beschwert hatte, wirklich heraufgetrieben wurden und in solcher Höhe sich lagerten, daß sie nur von einzelnen, besonders starken Wellen noch erreicht wurden. Daß an sandigen Meeresufern während des Sturmes wirklich große Massen aufgeworfen werden, leidet keinen Zweifel. Die weit ausgedehnten Ablagerungen, welche die Culturfähigkeit der angrenzenden Felder auf große Entfernungen fortwährend beeinträchtigen und oft gänzlich aufheben, zeigt dieses überall. Das Experiment in der Wellenrinne stellte daher, insofern die Bewegung zu schwach war, die Erscheinung nicht vollständig dar.

Nur in dem besondern Falle, wenn die Wellen recht gleichmäfsig erregt wurden, auch die Böschung an sich ziemlich flach war, fand eine sehr merkliche Ablagerung des Sandes an der Stelle statt,

Scheiteln der Wellen so eben noch erreicht wurde. aber hier sich anhäufte, war wirklich von tieferen Böschung abgebrochen, also durch die Wellen gehoben. Diese Erscheinung herbeizuführen, durfte der obere Dossirung sich nicht steil ausbilden, er mußte vielmach bleiben, damit die Wellenscheitel wirklich noch darfen und den gelösten Sand hinauftrieben. Indem nun Theil der Böschung schon bedeutend über dem mittleren des Wassers sich befand, und nur eine geringe Wasserströmung auflief, so versank letztere sogleich in dem Sande und deshalb über der Böschung keine Rückströmung, wodurch auch nicht wieder zurück getrieben wären.

Die selbe Erscheinung bemerkt man am Seestrande bei jeder Wellenbewegung. Die Rückströmung beginnt immer erst in einiger Entfernung von derjenigen Grenze, bis zu welcher die Welle aufläuft. Auf derselben versinkt das Wasser im Sande, und die Sandkörner, die es mit sich führte, bleiben als ein schwacher aber dennoch merklicher Rücken liegen, der deutlich wahrnehmen läßt, bis mit jeder letzten Welle aufgelaufen ist.

Die so eben mitgetheilten Thatsachen beziehn sich nur auf die Erscheinung im Allgemeinen, ohne daß dabei auf bestimmte Messungen Bezug genommen wäre. Ich habe indessen auch solche Versuche in einer Wellenrinne angestellt und theile die Resultate von einigen Versuchen in Fig. 6, 7 und 8 mit. Die Böschungen wurden, nachdem die Rinne bereits mit Wasser angefüllt und der Sand oder Kies gründlich durchnäßt war, mittelst eines dazu besonders eingerichtetes Lineals sorgfältig abgestrichen, alle Vertiefungen darin ausgeglichen und der Sand, der vor dem Fusse der Böschung lag, abgetragen.

Fig. 6 zeigt die Veränderungen an einer Böschung, die ursprünglich im Verhältnisse von 3 : 10 gegen den Horizont geneigt war. Sie bestand aus grobem, ausgewaschenem und gesiebttem Seesande, in dem einzelne Körnchen etwa den dritten Theil einer Linie im Durchmesser hielten: auf die Länge von einem Zolle konnte man leicht eine Reihe sich berührender Körnchen bilden, deren Anzahl in verschiedenen Versuchen 35 bis 40 betrug. Der Wasserstand in der Rinne maas 2,24 Zoll. Die Höhenlage des obern und untern Scheitels der Welle im freien Wasser, und des ersteren über

der Böschung ist in der Figur angegeben und mit o. S. und bezeichnet. Nachdem 300 Wellen dagegen gelaufen waren, sich bereits jene flach geneigte Ebene sehr merklich dargestellt, die fein punktirte Linie angiebt. Weit geringer waren die Ablagerungen, welche die folgenden 900 Wellen dabei hervorbrachten. Hierdurch veranlaßte Ablagerung des Sandes ist durch die punktirte Linie bezeichnet, welche die Schraffirung begrenzt. Es ergibt sich hieraus, daß der Stoß der 1200 Wellen den Fuß der Dossirung etwa einen halben Zoll über der Sohle der Rinne gar nicht veränderte und weder Abbruch, noch Ablagerung daselbst veranlaßte. Die aufmerksamste Betrachtung ließ hier auch durchaus keine Bewegung der Sandkörner wahrnehmen. Die Veränderungen weiter aufwärts waren nur die mittelbare Wirkung der Wellen, indem sich hier der von oben abgebrochene Sand anhäufte und etwa zweifacher Anlage sich ablagerte. Vorübergehend, wie auch die Figur angiebt, hatte er sich merklich steiler gestellt. Die flache Ebene, auf der der Sand immer hin- und hergetrieben wurde, hat im Allgemeinen eine zehnfache Anlage oder zehnfüßige Böschung angenommen. Weiter aufwärts wurde die Dossirung bedeutend steiler, doch versank hier größtentheils das aufschlagende Wasser, oder es lief auf der Oberfläche zurückzufließen. Endlich bemerkt man in einer Höhe, welche nur von einzelnen besonders großen Wellen erreicht wurde, einen nahe 1 Zoll breiten und $\frac{1}{2}$ Zoll hohen Rücken, der auf der ursprünglichen Böschung aufgeworfen wurde, also augenscheinlich aus einer Sandmasse bestand, die durch den Stoß der Wellen aufwärts geschleudert war.

Die in den Figuren 7 und 8 dargestellten Böschungen bestanden aus gröberem, gleichfalls gesiebttem Kiese, dessen Körner nicht 1 Linie im Durchmesser hielten: auf einen Zoll Länge konnten nämlich 12 bis 14 derselben neben einander geschoben werden. Die Böschungen hatten ursprünglich zweifache Anlage erhalten. Die bei nach und nach eingetretenen Veränderungen bezeichnen die Figuren in gleicher Weise, wie vorstehend angegeben. Man bemerkt, daß die Ablagerungen sich viel steiler, als bei dem feineren Sande, erhalten und stellenweise sogar in einer Neigung von 45 Grad sich erhalten. Die Ebenen, auf denen der Kies bei jeder Wellen hin- und hertrieb, haben in Fig. 7 eine zehnfache und in Fig. 8 sogar eine vierzehnfache Anlage. Sehr auffallend ist der Unterschied

Die Breite dieser Ebenen, und ohne Zweifel rührt dieser von der verschiedenen Geschwindigkeit der Wellen her. Letztere verhalten sich nach der früheren Auseinandersetzung, wie die Quadratwurzeln der Wassertiefen, und in diesem Verhältnisse stehen auch ungefähr die Breiten jener Ebenen zu einander. Die Abbrüche im obersten Theile der Böschungen waren sehr steil dossirt und oft hing der oberste Rand frei über: er befand sich aber stets in solcher Höhe, daß er von den Wellen gar nicht erreicht wurde.

Wenn diese mittelst der Wellenrinne angestellten Beobachtungen mit den Erscheinungen am Strande des Meeres eine unverkennbare Ähnlichkeit zeigen, so stellen sie die letzteren doch keineswegs vollständig dar, und dieses darf nicht befremden, insofern die Bewegung des Wassers in der Rinne sehr geringe, das Material dagegen, welches die Dossirung bildete, schon bedeutend gröber war, als am Seestrande zu sein pflegt. Aus diesem Grunde konnten Veränderungen der Böschung nur an den Stellen eintreten, wo sie am auffallendsten sind. Eine wichtige Erscheinung, die sich in der Natur sehr häufig wiederholt und bei flacher Ansteigung des Meeres vielleicht jedesmal vorkommt, gab sich daher in jenem Verhältnisse gar nicht zu erkennen. Sie besteht darin, daß seewärts vor dem eigentlichen Strande mehrere erhöhte Rücken in gewissen Abständen sich erheben, deren Höhe zunächst dem Ufer am größten ist, die aber weiterhin niedriger werden und bei zunehmender Entfernung kaum noch zu bemerken sind. Man nennt sie Riffe und gewöhnlich nimmt man an, daß immer drei derselben in paralleler Richtung sich vor dem Ufer hinziehen. Ihre Anzahl ist indessen keineswegs constant, und oft kann man bei sorgfältiger Peilung vier oder fünf derselben wahrnehmen, doch liegen die äußeren schon so niedrig und erheben sich so wenig über den Grund, daß sie nicht leicht zu bemerken sind. Diese Riffe sind es vorzugsweise, welche die Annäherung selbst von kleineren Fahrzeugen an das Ufer verhindern, indem diese, dem vollen Wellenschlage ausgesetzt, auf die Riffe aufzufahren.

Ohne Zweifel werden solche Rücken durch den Wellenschlag gebildet, und sie entstehn bei heftigem Sturme an denjenigen Stellen, wo die Wellen aus der See mit den rücklaufenden Wellen, mit dem verstärkten Rückstrome, den jede derselben veranlaßt, begegnen. Indem ich hoffte, daß auch diese Erscheinung im

kleinen Experimente sich wenigstens theilweise darstellen und die dafür gegebene Erklärung bestätigen würde, so gab ich der Wellenrinne selbst zuerst eine Neigung von 1 zu 15 und sodann von 1 zu 10, so daß also von der Stelle ab, wo die Wellen erregt wurden, die Tiefe immer geringer wurde und endlich die Oberfläche des Wassers den Boden berührte. Letzteren bestreute ich zunächst mit dem ausgewaschenen groben Seesande, und als ich bemerkte, daß dieser sich gar nicht bewegte, mit sehr feinem fast staubartigen Sande. Wie schnell ich aber auch den Apparat in Betrieb setzte, und wie weit ich auch die Scheibe ausschwingen liefs, so mißrieth dennoch dieser Versuch vollständig. Die Reibung im Wasser war so groß, daß die den Wellen mitgetheilte lebendige Kraft sich jedesmal schwächte, und die Wellen beim Auflaufen auf den ansteigenden Grund immer niedriger wurden und keine Rückströmung bemerken ließen. Der Sand kam daher gar nicht in Bewegung, jedes einzelne Körnchen blieb unverändert an seiner Stelle und nur neben der Begrenzung des stehenden Wassers wurde ein schmaler Streifen des Bodens der Rinne sichtbar. Der Versuch war nur in sofern interessant, als die Wellen, je weiter sie sich von der Erregungsstelle entfernten, immer kürzer wurden, oder ihre obern Scheitel näher zusammenrückten. Hierdurch bestätigt sich wieder, daß ihre Geschwindigkeit bei abnehmender Tiefe sich vermindert.

Das Entstehen der erwähnten Riffe oder Rücken, die stets unter dem jedesmaligen mittleren Wasserstande bleiben, beweist, daß die Wellen nicht allein unmittelbar vor dem Strande, sondern auch in weiterem Abstände und in größerer Tiefe den daselbst abgelagerten Sand in Bewegung setzen, und denselben bei heftigem Sturme wahrscheinlich in großer Masse nach dem Ufer treiben. Es wäre sonst in den meisten Fällen unerklärlich, wie der Sand stellenweise sich so stark anhäufen und vom Seewinde getrieben die dahinter belegenen Felder bedecken könnte. Vielleicht wird indessen von dieser großen Masse während des Sturmes nur ein kleiner Theil über den Spiegel der See aufgeworfen, und derselbe tritt nur dadurch zu Tage, daß nach dem Sturme die Anschwellung aufhört und der Wasserstand wieder auf sein gewöhnliches Maafs zurücksinkt. Sobald Letzteres geschieht, bemerkt man nämlich, daß dasjenige Riff, welches dem Ufer am nächsten liegt, demselben sich stark genähert hat und zugleich so angewachsen ist, daß es über Wasser

Es bildet eine schmale Zunge, die sich vielfach an den Strand schließt, und über welche einzelne Wellen noch herüberschlagen und die dahinter belegenen Lachen theilweise mit neuem Sande ausfüllen. Sobald das Wasser seinen gewöhnlichen Stand annimmt, liegen diese flachen Rücken 1 bis 2 Fuß darüber hervor, und indem sie trocken werden, so füllen jene Lachen sich vollständig aus, der Strand gewinnt an Breite und bei anhaltendem schwächeren Seewinde fliegt der Sand, aus dem sie bestehn, nach den Dünen und auf die dahinter belegenen Flächen.

Es dürfte keine gewagte Voraussetzung sein, daß der Sand, welcher von der seewärts gerichteten Strömung herabgeführt wird, nicht über diejenige Grenze hinaustritt, wo die Wellen ihn wieder in Bewegung setzen und ihn daher möglicher Weise auch wieder nach dem Ufer zurückführen können. . Daß es eine gewisse Grenze giebt, welche der Sand nicht überschreitet, habe ich sehr auffallend vor der Insel Wangeroog gesehn, als ich zur Zeit einer Springfluth während der Ebbe dem zurücktretenden Wasser folgte und plötzlich die Sanddecke aufhören sah, und den festen Klai- oder Marschboden betrat, der ganz frei von Sand war. Hiermit hängt auch die Erscheinung zusammen, daß vor Pillau, wo die Ufer theils hoch mit Sand bedeckt sind, theils ganz aus Sandablagerungen bestehn, und wo auch das tiefe Fahrwasser über dem Sande sich hinzieht, dennoch der Grund der Rhede nur zäher Thon, und ganz frei von Sand ist. Man kann dieses sehr deutlich wahrnehmen, wenn man den Boden untersucht, welcher an den gehobenen Ankern haftet.

Von großer Wichtigkeit und zwar besonders in Bezug auf den Hafenbau ist das Verhalten der Wellen, wenn sie senkrechte oder sehr steile Ufer treffen. Es ergiebt sich aus den bereits entwickelten Gesetzen, daß die Schwingungen der zunächst an der senkrechten Wand befindlichen Wasserfäden ganz aufhören müssen, und der erhaltene Impuls nur auf ihre periodische Verlängerung und Verkürzung, oder auf Hebung und Senkung der Oberfläche wirken kann. Der Fuß dieser Wasserfäden bleibt unverändert an seiner Stelle, der Boden darunter ist daher keinem merklichen Angriffe ausgesetzt. Die Beobachtungen, die ich in der Wellenrinne anstellte, bestätigten dieses vollständig. Das Glimmerblättchen blieb vor einer senkrechten Wand, die bis über den Wasserspiegel herausragte, unverändert in seiner Lage. Nur wenn es zufällig eine schräge Rich-

tung annahm, so legte es sich fest an die Wand, und trennte sich nicht wieder von derselben. Die Wellen hoben und senkten sich in den Scheiteln auffallend stärker, als in einiger Entfernung, aber hierin allein gab sich die Wellenbewegung an dieser Stelle noch zu erkennen. Ich bestreute den Boden der Rinne mit dem feinsten Sande, der durch sorgfältiges Auswaschen vom Staube gereinigt war. Auch dieser blieb neben der Wand ganz unbewegt liegen, ohne daß irgend ein Körnchen hin- und hergerollt oder fortgetrieben wäre. Die Bewegung des Wassers ist also in diesem Falle wesentlich von derjenigen verschieden, welche auf flachen Dossirungen eintritt. Auf solchen nimmt die ganze Masse eine starke horizontale Bewegung an und reißt Sand und Steine mit sich fort, vor der senkrechten Wand erfolgt dagegen nur Hebung und Senkung des Wassers, und jede Einwirkung auf den Boden hört auf.

Ganz dasselbe, was diese Beobachtungen im Kleinen zeigten, wiederholt sich auch in den Erscheinungen an steilen Meeresküsten. In den Vernehmungen, die auf Veranlassung des Parlaments in Betreff des Hafens von Dover statt fanden, machte der Capitän James Vetch die Mittheilung,*) daß er beim Ausgehn aus dem kleinen Hafen Scarnish auf der Insel Tiree in einem leichten Fahrzeuge (von 25 Last) durch einen heftigen Wind gegen eine steile Felswand getrieben sei, die etwa 60 Grade gegen den Horizont geneigt war, und daß das Fahrzeug sich wiederholentlich nur hob und senkte, ohne den Felsen zu berühren, obwohl es keinen vollen Yard davon entfernt war.

Bei derselben Gelegenheit erwähnte der Professor Airy**), er sei einst zur Zeit des Hochwassers und zwar bei starkem Seegange aus dem Hafen Swansea gerudert, während neben den steilen Köpfen der Hafendämme die Wassertiefe etwa 20 Fufs betrug. Wir fuhren, sagt er, an dem einen Kopfe so nahe vorbei, daß wir ihn mit den Rudern berühren konnten, es fand hier aber keine Brandung statt und wir durften das Aufstoßen des Bootes nicht fürchten, obwohl dasselbe viele Fufs hoch sich abwechselnd hob und senkte. Kaum waren wir indessen etwa 200 Yards weiter gekommen,

*) Report on the harbour of Refuge to be constructed in Dover-Bay. London 1847. pag. 58.

**) Ebendasselbst, pag. 88.

Wir uns vor einer flachen Bank befanden, und hier brandete die See so stark, daß sie zwei Mann über Bord schlug und das Boot mit Wasser anfüllte. Derselbe erwähnte ferner, er sei bei anderer Gelegenheit an einigen der aus tiefem Wasser senkrecht aufsteigenden Felsen an der Ostseite des Cap Lizard vorbeigerudert und habe hier gesehen, daß die Wellen nicht brachen, aber auf den flach liegenden sandigen Ufern bei Cadgwith sei gleichzeitig hohe Brandung gewesen. Ein ausgezeichnete Ingenieur habe ihm auch erklärt, wie sehr er überrascht worden, als er gesehen, daß vor den Felsen, die aus dem tiefen Wasser in der Bai von Valencia sich erheben, die hohen Wellen keine Brandung bemerken ließen.

Dieselbe Erfahrung machte ich auch, als ich bei mäßigem Seege aus der Bai von Vigo im nördlichen Spanien nach der portugiesischen Küste fuhr. Die Südseite der Insel Bajona wurde von Wellen getroffen, dieselben brandeten aber nicht, so weit sie an die steil ansteigende Felswand schlugen. Ostwärts dagegen lag vor den Felsen ein sandiges Ufer und hier fand eine heftige Brandung statt, die sich noch in meilenweiter Entfernung durch den hohen Schaum zu erkennen gab.

Indem diese Thatsachen unverkennbar dafür sprechen, daß auch der See vor steilen Ufern die horizontale Bewegung aufhört, so ergibt hieraus wieder, daß unmittelbar über dem Grunde, wo außerdem auch die vertikale Bewegung sehr geringe ist, beinahe vollständige Ruhe stattfinden muß, und daß sonach hier durch den Wellenlag Sand oder Kies weder abgelagert, noch auch abgeführt wird. Wenn der neue Hafendamm vor Dover erbaut werden sollte, der ganz aus der Tiefe von etwa 40 Fuß unter Niedrig-Wasser ansteigt, sorgte man, daß der Kreideboden unter ihm durch den Wellenlag ausgewaschen und er dadurch bedroht werden möchte. Dieses Vorurtheil hat sich indessen nicht bestätigt. Auch sonstige Erfahrungen begründen keineswegs die Vermuthung, daß der Wellenlag vor senkrechten Wänden eine große Vertiefung erzeugt. Auf der westlichen Seite von Colberger-Münde ist ein Werk auf der Düne durch eine Steinböschung geschützt, die sich gegen eine senkrechte Felswand lehnt. Vor der letzteren, obwohl sie dem vollen Wellenlage der See ausgesetzt ist, bildet sich niemals eine solche Tiefe, welche die Wand selbst in Gefahr brächte. Nur die Strömung

ist hier wirksam, indem sie bald den Sand davor ablagert, oft sogar bis über Wasser hebt, und bald ihn wieder fortreibt.

Das bei uns allgemein verbreitete Vorurtheil, daß steile Wände an der See und selbst im Innern der Häfen nicht haltbar sind, weil die Wellen den Grund darunter fortspülen, beruht allein darauf, daß man die Erfahrungen, die an Strömen gemacht sind, auf die See überträgt, und die Wirkung der Strömung mit der des Wellenschlages verwechselt.

Es bleibt noch übrig, den Stofs der Wellen zu erörtern, der bei Hafenbauten häufig die verheerendsten Wirkungen veranlaßt. Wenn eine Landebrücke so niedrig liegt, daß ihr Belag von den Wellen erreicht wird, so kann dieser dem Stosse der letztern nicht widerstehn, die Nägel oder Bolzen, womit die Bohlen befestigt sind, werden in kürzester Zeit gelöst und ausgerissen, oder die Bohlen zerbrochen, so wie auch die Balken aus den Zapfen gehoben werden. Um die Brücke zu sichern, muß das Aufsteigen der Welle möglichst wenig verhindert sein, der Belag muß daher aus Latten bestehn, die unten zugescharft sind, und durch deren weite Fugen das Wasser hindurchtreten kann.

Sobald die vertikale Bewegung des Wassers kein Hinderniß findet, so äußert sich bei größerer Tiefe keine zerstörende Wirkung. Rendel bemerkte bei Ausführung des Hafendamms bei Portland, daß die Rüstpfähle, die im tiefen Wasser eingerammt waren, auch bei den heftigsten Stürmen nicht beschädigt wurden. In gleicher Weise erlitt die Pfahlwand, die zur Verlängerung des westlichen Hafendamms bei Stolpmünde nach meinem Vorschlage auf der innern Seite dieses Damms vor der Ausführung der Steinschüttung, also in offener See, eingerammt wurde, keine Beschädigung. Die Gefahr für solche Wände oder einzelne Pfähle tritt erst ein, wenn sie hinter natürlichen oder künstlichen steilen Böschungen sich befinden, wo die ganze Wassermasse der Welle schon eine starke horizontale Bewegung angenommen hat. Der Stofs, den die Wellen alsdann ausüben, ist oft überraschend groß. Schon an der Ostsee werden die flach dossirten und über Wasser abgepflasterten Hafendämme, so oft sie in tiefes Wasser treten, gewöhnlich bald nach ihrer Herstellung in der Oberfläche zerstört. An der innern Seite des östlichen Damms von Swinemünde hat sich ein vollständiges Banket aus großen Steinen abgelagert, die sämmtlich bei nord-öst-

haben Stürmen von der seeseitigen flachen Dossirung herübergeworfen sind. Der Wärter des kleinen Leuchthurmes auf dem Kopfe der östlichen Mole, der während des heftigen Sturmes in den letzten Tagen des Jahres 1857, von aller Verbindung mit dem Lande abgeschnitten, drei Tage hindurch in dem massiven Unterbau sich aufhalten mußte, sagte aus, daß einer der großen Schwedischen gesprengten Granitblöcke, von etwa 50 Cubikfuß Inhalt, wiederholtlich gegen diesen Unterbau geschleudert, und derselbe dadurch so erschüttert worden, daß er seinen Einsturz jedesmal gefürchtet hätte, bis endlich eine Welle ihm eine andere Richtung gegeben und er neben dem Thurme über die Krone des Dammes fort in den Hafen geworfen sei. Einer ähnlichen noch viel auffallenderen Thatsache erwähnt Thomas Stevenson. *) Beim Beginne des Leuchthurm-Baues auf Barrahead, einer der Hebridischen Inseln, erzählten ihm die Einwohner, daß ein Gneiß-Block am Strande, der 9 Fuß lang, 8 Fuß breit und 7 Fuß hoch war, also etwa 500 Cubikfuß (Englisches Maass) hielt, bei heftigem Sturme von den Wellen hin- und hergerollt werde. Wie unglaublich diese Mittheilung erschien, so wurde sie doch im Januar 1836 bestätigt. Die ankommende Welle verbarg und begrub jedesmal den Stein, und ihr Scheitel erreichte in der Höhe von 40 Fuß über dem Hochwasser-Spiegel das Ufer. Sobald die Welle den Stein verließ, bemerkte man, daß er weiter landwärts lag, das zurückfließende Wasser stieß ihn aber wieder nach der See, worauf er nahe trocken wurde, bis eine folgende Welle ihn aufs Neue in derselben Art bewegte.

Auch die beim Bau des Wellenbrechers vor Cherbourg gemachten Erfahrungen stimmen hiermit überein. Auf dem östlichen Flügel waren nicht nur seit langer Zeit die seeseitigen Dossirungen durch Steinschüttung gebildet und diese theilweise mit Béton-Blöcken von 20 Cubikmeter oder 640 Cubikfuß Inhalt überdeckt, sondern es war auch eine beinahe senkrechte Mauer von 19 Fuß Höhe auf der Krone aufgeführt. Beim Gegenschlagen an diese Mauer erhoben sich die Wellen, wie man schon 1835 wahrnahm, oft mehr als 30 und 40 Meter (95 bis 130 Rheinl. Fuß). Auf sehr heftige Angriffe mußte man daher gefaßt sein. Beim ungewöhnlichen Nord-Nord-Ost-Sturme am 25. December 1836 traten auch in der That sehr

*) In dem bereits bezeichneten Bande der Report's, pag. 108.

grofse Beschädigungen ein, und was hier besonders Erwähnung verdient, mehr als 200 der natürlichen Steine, welche die Dossirung bildeten, waren über die Mauer hinübergeworfen und lagen auf der südlichen Risberme. Mehrere wogen über 3000 Kilogramme. An der östlichen Ecke waren auch die grofsen Béton-Blöcke in Bewegung gekommen und zum Theil bis 20 Meter weit fortgetrieben. Zwei derselben waren dabei umgekehrt.*)

Endlich erwähne ich noch eine Thatsache, auf welche ich bei meiner Anwesenheit in Cete durch den dortigen Ingenieur aufmerksam gemacht wurde. Zum Schutze der alten Steinschüttung, welche die Dossirung des Wellenbrechers bildet, waren sehr grofse Béton-Blöcke, nämlich von 70 Cubikmeter oder von 2240 Rheinl. Cubikfuß aus Bruchsteinen aufgemauert worden. Sie hatten keine parallelpipädische Form, und waren vielmehr in der Mitte höher, als an den Enden, damit sie von den anlaufenden Wellen nicht zu heftig getroffen werden möchten. Ihre Länge maafs 7 Meter, ihre Breite 5 Meter und ihre Höhe in der Mitte 3 und an den Enden 1,5 Meter. Drei dieser Steine hatte man auf der flach ansteigenden Dossirung normal gegen das Ufer, so dafs also nur eine Fläche von 7,5 Quadratmeter dem Stofse der Wellen ausgesetzt war, in geringem Abstände von einander und in gleicher Richtung ausgeführt. Bei dem Sturme am 20. August 1857 war der mittlere dieser Steine 1 Meter weit die Dossirung heraufgeschoben. Andere isolirt liegende Blöcke schienen noch weiter bewegt zu sein, doch liefs sich der Weg, den sie gemacht hatten, nicht sicher bestimmen. Wenn man nun auch darauf Rücksicht nimmt, dafs unter der darüber laufenden Welle ein grofser Theil des Gewichtes aufgehoben wurde, so mufste die Welle doch einen Effect ausgeübt haben, der wenigstens einem Drucke von 1000 Pfund auf den Rheinländischen Quadratfuß entsprach.

Der bereits erwähnte Ingenieur Th. Stevenson in Edinburg bemühte sich, den Stofs der Wellen durch directe Beobachtung zu messen.**) Er construirte zu diesem Zwecke ein eigenes Instrument, von ihm Marine-Dynamometer benannt, das Fig. 14, a und b

*) Travaux d'Achèvement de la digue de Cherbourg par J. Bonnin. Paris 1857. pag. 60.

**) In demselben Bande der Report's, pag. 105 ff.

der Seitenansicht und im Querschnitt gezeichnet ist. Das-
 selbe besteht aus einem gußeisernen Cylinder von 8 Zoll Länge und
 6 Zoll innerem Durchmesser. An dem einen Ende desselben ist
 der Boden angegossen, am andern befindet sich ein vortretender
 Rand, woran man einen Deckel mit Schrauben befestigen kann.
 Zwei andere Ränder an beiden Seiten des Cylinders und parallel
 zur Achse desselben dienen zu seiner Befestigung, indem Bolzen,
 die in die vorher zugerichtete Klippe eingelassen waren, hindurch-
 gehen und durch Schraubenmutter die Verbindung darstellen.
 Der Cylinder wurde seitwärts an einen vortretenden Felskopf so
 befestigt, daß die Wellen in der Richtung seiner Achse dagegen-
 schlugen, diese Achse war aber horizontal, weil es darauf ankam,
 den horizontalen Stoß zu messen. Die Höhe mußte so gewählt
 werden, daß man bei Niedrigwasser noch bequem hinzukommen
 und die Ablesung vornehmen konnte, zu diesem Zwecke durfte das
 Instrument nicht niedriger liegen, als etwa auf drei Viertel der ge-
 wöhnlichen Fluthhöhe über Niedrigwasser. Durch den Boden und
 den aufgeschraubten Deckel, der seewärts gekehrt wurde, waren
 übereinstimmend vier Löcher gebohrt, durch welche eben so viele
 starke Stangen hindurchreichten. Diese trugen an der Seeseite die
 vertikale Scheibe, welche den Stoß empfing. Der Durchmesser der-
 selben maas gemeinhin 6 Zoll, doch konnten auch Scheiben von 3
 und 9 Zoll aufgesetzt werden. Im Innern des Cylinders war an
 jenen Stangen noch eine andere Scheibe angebracht, die nur zur
 Befestigung von vier starken Spiralfedern diente. Letztere befanden
 sich zwischen dieser Scheibe und dem äußern Deckel, und waren
 mit beiden fest verbunden. Beim Stosse der Wellen zogen sie sich
 daher weiter aus, und um zu sehn, wie weit dieses beim stärksten
 Stosse geschehn war, so wurden auf die hintern Enden der Stangen
 und zwar noch innerhalb des Cylinders, je vier Lederstückchen auf-
 gezogen, die beim Zurückgehn der Stangen an den Boden stießen
 und verschoben wurden. Es legten sich alsdann an jeder einzelnen
 Stange mehrere derselben Lederscheiben dicht an einander, und
 wenn sie in dieser Stellung befunden wurden, so durfte man an-
 nehmen, daß sie sich nicht später verschoben hätten. Außerdem
 zeigte auch die übereinstimmende Lage der Scheiben an allen vier
 Stangen jedesmal, daß eine Verschiebung nicht vorgekommen war.
 Die erwähnten Federn konnten gleichfalls zur nöthigen Abwechse-

lung der Versuche mit andern, die stärker oder schwächer waren, vertauscht werden. Zur Ablesung der stärksten eingetretenen Bewegungen befand sich in dem Cylinder eine Thüre, durch welche man den Abstand zwischen dem hintern Boden des Cylinders und den Scheiben im Innern messen, oder vielmehr auf den eingetheilten Stangen ablesen konnte. Vor der Befestigung des Cylinders wurden die Federn untersucht, indem man bei aufrechter Stellung des Cylinders auf die äußere Scheibe verschiedene Gewichte aufbrachte und zusah, bis zu welchen Theilstrichen die Stangen jedesmal zurückgingen.

Mit diesem Instrumente wurden an drei verschiedenen Orten Messungen gemacht, nämlich an der Irischen See auf Little Ross, im Atlantischen Meere auf der Insel Tyree und in der Nordsee auf Bell-Rock. Am wichtigsten sind die Beobachtungen für den Atlantischen Ocean, die ohne Unterbrechung 23 Monate hindurch fortgesetzt wurden, sie ergaben für die stärksten Stürme während der Sommermonate den Druck der Welle auf den Quadratfuß Oberfläche durchschnittlich 611 Pfund, und während der Wintermonate 2086 Pfund. Der stärkste Druck, der überhaupt beobachtet wurde, betrug 6083 Pfund. Auf Rheinländisches Flächenmaafs und deutsches Gewicht reducirt, verwandeln sich diese Pressungen in 588, 2007 und 5852 Pfund. Der grösste in der Nordsee beobachtete Druck der Wellen betrug dagegen nur 2959 Pfund deutschen Gewichtes auf den Rheinländischen Quadratfuß.

Offenbar haben diese Resultate selbst für eine bestimmte Localität keine allgemeine Gültigkeit, und sind gewiss vorzugsweise davon abhängig, in welcher Art die Wellen auflaufen, und ob deren Wassermasse schon entschieden die fortschreitende Bewegung angenommen hat. Sodann ist es zweifelhaft, ob der Stofs der Welle der Ausdehnung der getroffenen Scheibe proportional ist, und wahrscheinlich wird dieser bei derselben Welle, wenn man ihn in verschiedenen Höhen misst, auch sehr verschiedene Werthe annehmen. Endlich aber ist die Vergleichung des Stosses mit dem Drucke jedesmal sehr zweifelhaft, und so mag es auch bei diesen Versuchen vorgekommen sein, daß die schwere Scheibe, während die Feder noch nicht auf sie einwirkte, eine so starke Bewegung annahm, daß sie in Folge ihres Trägheits-Momentes weiter zurückwich, als der Druck des Wassers es erfordert hätte.

Nichts desto weniger bieten diese Messungen doch einen ungefähren Anhalt. Wenn der Druck nur als ein statischer betrachtet werden dürfte, so müßte bei einer Pressung von 3000 und 6000 Pfund auf den Quadratfuß der obere Wellenscheitel 48,5 und 97 Fuß über dem Instrumente liegen. Solche Höhen der Wellen kommen vor stufenförmig oder steil ansteigenden Ufern, die tiefes Wasser vor sich haben, unbedingt vor. Selbst in der Ostsee, wo doch die Tiefe nur mäßig ist, auch Sandbänke vor den Ufern liegen, erreicht die Brandung unter besondern Umständen schon eine ähnliche Höhe. Bei dem heftigen Weststurme im October 1828 kam eine auf der Rhede von Pillau ankernde Brigg ins Treiben, und da sie weder fortsegeln, noch über die Barre gehn konnte, so wurden die Segel beigesezt und vor dem Winde lief sie auf den Strand. Als sie zum erstenmale den Grund berührte, erhob sich hinter ihr eine Welle welche die Bramstengen überragte, also wenigstens 70 Fuß hoch sein mußte. Diese Welle warf das Schiff aber weit auf den Strand und die folgenden Wellen erreichten daher nicht entfernt solche Höhe. Am Bell-Rock und andern auf isolirten Klippen erbauten Leuchtthürmen sind Erscheinungen dieser Art nicht ungewöhnlich und nach manchen Mittheilungen sollen es hier zusammenhängende Wassermassen sein, die sich so hoch erheben. An der Küste von Cornwall beobachtete man 1843 Wellen von 300 und bei Wasberg in Norwegen sogar von 400 Fuß Höhe.

Dafs die Wellen sich nur in dem Falle vollständig ausbilden und die der Stärke des Windes entsprechende Höhe annehmen, wenn die Wasserflächen hinreichende Ausdehnung haben, ist an sich einleuchtend. Hieraus ergibt sich auch, dafs die Wellen mäßig bleiben müssen, wenn die See in der Richtung des Windes nur geringe Breite hat, oder wenn in größeren Meeren vortretende Landungen oder ausgedehnte Inseln in geringer Entfernung gegenüber liegen. In Memel ist der Wellenschlag bei westlichen Stürmen am stärksten, weil hier die Wasserfläche in dieser Richtung bis zur Schwedischen Küste von Skaane etwa 60 deutsche Meilen mißt. Auch bei Pillau stellt sich dasselbe Verhältniß dar, sobald der Wind nicht soweit südlich geht, dafs Rixhöft die Rhede deckt. In Swinemünde dagegen veranlassen westliche Stürme, obwohl sie auf der nördlichen Hemisphäre besonders stark aufzutreten pflegen, nur mäßige Wellen, weil die Inseln Usedom, Rügen und selbst die Dänischen

Inseln in dieser Richtung die Wasserfläche in geringer Entfernung begrenzen. Dagegen streicht hier der Nord-Ost von dem Ende des Finnischen Meerbusens bei Gottland und Bornholm vorbei, etwa 100 deutsche Meilen über das Wasser und verursacht daher den höchsten Seegang. Man darf indessen nicht glauben, daß die seitwärts belegenen Ufer und Inseln sogleich den Wellenschlag merklich mäßigen, wenn der Wind sich soweit ändert, daß seine Richtung sie zum Theil trifft. In Pillau konnte man keine Schwächung des Wellenschlages wahrnehmen, wenn der Wind aus Nordwest nach West und selbst weiter südlich ging, obwohl alsdann das Ufer von Rixhöft schon stark vortrat. Stevenson leitete aus Beobachtungen, die er am Frith of Forth und an dem Murray-Firth angestellt hatte, die Regel ab, daß die Höhen der Wellen bei verschiedenen gleich starken Stürmen sich zu einander verhalten, wie die Quadratwurzeln der Entfernungen der windwärts belegenen Küsten.*)

§. 6.

Fluth und Ebbe im offenen Meere.

Unabhängig von den vorstehend untersuchten Wellen, die in geringen Entfernungen sich hinter einander bilden, und deren Länge und Geschwindigkeit, so wie die Richtung ihrer Bewegung man leicht wahrnehmen kann, giebt es in den großen Meeren noch andre Wellen, die zwar noch schneller fortschreiten, deren Länge aber so riesenmäsig ist, daß man sie nur an dem abwechselnden Steigen und Fallen des Wassers erkennt. Dieses ist die Fluth und Ebbe.

An den Europäischen Küsten des Atlantischen Oceans und der Nordsee erhebt sich zweimal am Tage der Wasserspiegel durchschnittlich vielleicht 12 Fuß, und sinkt zweimal wieder eben so tief herab. Die Sandbänke und Schlickgründe vor den Hafen-Mündungen werden dadurch abwechselnd überfluthet und mehr oder weniger trocken gelegt. Der Wasserstand auf denselben ist daher so verschieden, daß die meisten der dortigen Häfen nur zur Zeit des Hochwassers zugänglich sind. Die Fluth und Ebbe ist demnach

*) New Edinburgh Philosophical Journal. Vol. 53, pag. 858.

ir den Schiffahrts-Betrieb von der äussersten Bedeutung und dieses so mehr, als der Wasserwechsel auch starke Strömungen veranlasst, welche bald in einer und bald in der andern Richtung sich bilden.

Diese Strömungen verbunden mit dem Wellenschlage, der bei dem wechselnden Wasserstande sehr verschiedene Angriffspunkte findet, üben auf jedes Ufer wieder zerstörende Wirkungen. Indem das abgebrochene Material aber sogleich vom Strome weitergetrieben wird, so kann sich an der offenen Küste keine Ablagerung bilden, welche den Uferrand vor neuen Angriffen schützt, und der Abbruch setzt sich unaufhaltsam immer weiter fort. An den großen Meeren, welche starken Fluthwechsel zeigen, findet man kein höheres Ufer, welches durch Alluvion entstanden wäre. Solche sind überall im Laufe der Zeit längst verschwunden, nur der gewachsene Felsboden, obwohl er auch fortwährend angegriffen wird, bestimmt vorzugsweise dem Meere seine Grenzen, und zwischen solchen Festpunkten zieht sich ein flacher Strand, aus Kies oder Sand bestehend, hin, der grossentheils aber wieder in einer langsamen fortschreitenden Bewegung begriffen ist. In Meeren, wie die Ostsee, die keine merkliche Fluth und Ebbe, noch auch die damit verbundenen starken Strömungen zeigen, ist das Verhältniß zum Theil ein Anderes. Die hohen, aus aufgeschwemmtem Boden bestehenden, fruchtbaren Ufer, die sie vielfach umgeben, weichen zwar auch von Jahrhundert zu Jahrhundert mehr zurück, aber sie sind noch vorhanden, während man solche an großen Meeren vergeblich sucht.

Die erwähnten Strömungen setzen, besonders wenn der Wellenschlag ihre Wirkungen unterstützt, den Sand, den Kies und selbst mäßeige Steine in Bewegung, und treiben sie oft auf weite Entfernung fort. Sie bieten sonach ein Mittel, dieses Material an mehr geschützten Stellen aufzufangen und dadurch bedeutende Alluvionen zu schaffen. Andererseits bildet dieser Strom, namentlich in engeren Canälen und in den Mündungen der Meerbusen und Flüsse, tiefe Fahrwasser, die eben sowol bei der Fluth, wie bei der Ebbe gespült werden, und sich mehr oder weniger von selbst offen erhalten. Endlich kann man auch, wenn man in geräumigen Bassins das Hochwasser auffängt, und es zur Zeit des niedrigen Wassers abfließen läßt, sehr kräftige Strömungen künstlich erzeugen, die zum Spülen der Hafenmündungen mit Vortheil benutzt werden. Daß

diese großartige, für den Hafen- und Uferbau so wichtige Erscheinung der Fluth und Ebbe sich in regelmäßigen Perioden wiederholt, die von der Witterung im Allgemeinen ganz unabhängig war schon im frühesten Alterthume bekannt, auch bemerkte schon damals die Beziehung zwischen dieser Erscheinung und dem Stande des Mondes und der Sonne gegen die Erde, doch blieb die Erklärung des Phänomens Newton vorbehalten. Der Zusammenhang ließ sich nicht früher erkennen, als bis man einging, hatte, daß keine andre Kraft, als die Schwere, die Erde und den Mond in ihren Bahnen erhält.

Die Periode, in welcher das Steigen und Fallen des Wassers erfolgt, ist nicht genau ein halber Tag, sondern umfaßt einen längeren Zeitraum. Der Eintritt der dritten Fluth verzögert sich ungefähr um 50 Minuten, oder erfolgt um soviel später am nächsten Tage. In 28 bis 29 Tagen trifft sonach das Hochwasser wieder dieselbe Tages-Stunde. Dieses ist keine andre Periode, als die Bewegung des Mondes um die Erde. Dabei giebt sich noch eine zweite sehr auffallende Beziehung der Fluth zum Monde zu erkennen, nämlich wenige Tage nach den Voll- und Neumonden ist der Wasserwechsel am größten, nach dem ersten und letzten dagegen am kleinsten. Hieraus ergibt sich schon, daß sowohl die Sonne als die Erde auf diese Erscheinung Einfluß haben muß. Die sorgfältigen Beobachtungen, die man in neuerer Zeit an vielen Orten angestellt hat, zeigen diesen Einfluß noch unverkennbarer. Der Wasserwechsel ist nämlich, abgesehen von der gegenseitigen Stellung der Sonne und des Mondes, um so größer, je näher diese beiden Himmelskörper, oder einer derselben der Erde ist, und je geringer die Declinationen sind. Die stärksten Fluthen treten daher in den Voll- und Neu-Monden zur Zeit der Aequinoctien ein.

Bevor die Erklärung der Erscheinung gegeben wird, ist es nöthig, einige allgemein eingeführte Benennungen festzustellen. Das Steigen des Wassers nennt man die Fluth, das Fallen des Wassers die Ebbe. Zwischen beiden tritt eine Periode des Stillstandes ein, die an manchen Orten länger, an andern kürzer ist, oft nur wenige Minuten beträgt, unter besondern localen Verhältnissen sich mehrere Stunden ausdehnt. Diese Periode ist entweder Hochwasser oder Niedrigwasser. Den Höhenunterschied zwischen beiden Wasserständen nennt man zuweilen die Fluthhöhe.

Dieser Ausdruck veranlaßt aber leicht Mißverständnisse, indem er auch zugleich diejenige Höhe am Pegel bezeichnet, welche die Fluth erreicht. Passender ist daher die Benennung Fluthwechsel, die gleichfalls bereits eingeführt ist.

Gemeinhin findet während der Fluth die Strömung in anderer und meist in entgegengesetzter Richtung statt, als während der Ebbe, und man pflegt zuweilen unter Fluth und Ebbe auch die Richtung des Stromes zu verstehn. Das Aufhören der Strömung, oder das Umsetzen oder Kentern des Stromes ist alsdann die Grenze zwischen beiden Erscheinungen. An offenen Meeresküsten erfolgt dieses gewöhnlich zur Zeit des höchsten und des niedrigsten Wassers, in welchem Falle jene Worte nach den beiden erwähnten Bedeutungen dieselbe Periode bezeichnen. In den Mündungen der Ströme verhält es sich aber anders. Der Ebbestrom ist nach der See gekehrt, der Fluthstrom entgegengesetzt, und insofern der Zufluß aus dem obern Lande ununterbrochen fortdauert, so steigt das Wasser oft schon sehr merklich, während der Ebbestrom noch stattfindet. Es giebt sogar bei jedem Strome eine gewisse Strecke, oft von bedeutender Ausdehnung, in welcher man das Steigen und Fallen des Wassers sehr deutlich wahrnehmen kann, wo also nach der ersten Bedeutung der Worte, Fluth und Ebbe unverkennbar stattfindet, während nichts desto weniger ein aufwärts gekehrter Fluthstrom gar nicht eintritt. Nach der letzten Bedeutung der Worte würde man also in diesem Falle von Fluth und Ebbe nicht sprechen können.

Die Fluthen in den Voll- und Neumonden, oder in den Syzygien, die besonders stark sind, nennt man Springfluthen, dagegen diejenigen in dem ersten und letzten Mondviertel, oder in den Quadraturen todte Fluthen. Der Ausdruck Aequinoctial-Fluthen bedarf keiner Erklärung.

Die Stunde, in welcher am Tage des Vollmondes oder Neumondes das Hochwasser in einen Hafen eintritt, nennt man die Hafenzeit (Etablissement). Die Kenntniß derselben ist für den Schiffer, der den Hafen ansegeln will, von großer Wichtigkeit. Indem er aber für jeden folgenden Tag 50 Minuten hinzusetzt, so kann er leicht jedesmal die Zeit des Hochwassers berechnen, sobald er die Hafenzeit kennt. Die nautischen Jahrbücher enthalten die Hafenzeiten von allen besuchten Seehäfen an großen Meeren.

Vergleicht man die Hafenzeiten benachbarter Häfen mit einander, so findet man, daß sie unter sich nahe übereinstimmen, und hieraus ergibt sich, daß die Fluthen von großen Wasserwellen herühren, welche bedeutende Theile der Erdoberfläche umfassen. Das Fortschreiten dieser Wellen ist aus den Hafenzeiten leicht zu erkennen, aber es zeigt so große Unregelmäßigkeiten und ist so sehr durch die Gestaltung der Küsten bedingt, daß man aus einzelnen Beobachtungen die Erscheinung weder im Ganzen auffassen, noch auch erklären konnte. Die Welle läuft eben sowol nach Westen, wie nach Osten, und wenn sie an der Europäischen Küste des Atlantischen Oceans auch vorzugsweise nach Norden gekehrt ist, so bewegt sie sich an einzelnen Stellen auch wieder südwärts.

Nachdem in neuerer Zeit eine frequente Schifffahrt sich über alle Meere ausgedehnt hat, soweit sie irgend ein merkantiles Interesse bieten, und man die Hafenzeiten aller Küsten wenigstens annähernd kennt, so ergaben die Zusammenstellungen derselben, wovon später die Rede sein wird, daß die eigentliche Quelle der Fluth und Ebbe nur in der südlichen Hemisphäre jenseits der Vorgebirge, welche Afrika und Amerika im Süden abschneiden, zu suchen ist. Dort bewegen sich gleichzeitig zwei mächtige Fluthwellen mit einer Geschwindigkeit, die nahe der Umdrehungs-Geschwindigkeit der Erde gleichkommt, und die in der Periode eines Mondes-Tages ihre Revolutionen vollenden. Die Fluthen in der Nordsee und selbst im Atlantischen Ocean sind nicht ursprüngliche Erscheinungen, sondern nur Fortsetzungen jener Wellen-Erhebungen, die im südlichen Weltmeere erfolgen. Die große Ausdehnung des letzteren und vor Allem die Abwesenheit zusammenhängender Landmassen, welche die Wellen unterbrechen würden, macht es schon an sich wahrscheinlich, daß die Fluthwelle sich dort am vollständigsten ausbildet. Die Kräfte, durch welche sie erregt wird, dürfen daselbst nur die bereits angeregte Bewegung erhalten und den Verlust an lebendiger Kraft ersetzen, den die Reibung und die weitere Mittheilung der Bewegung veranlaßt. Die Welle selbst bleibt aber und bedarf nicht einer stets erneuten Erregung, wie solche nöthig wäre, wenn in gleicher Weise, wie im Atlantischen Ocean, ein zusammenhängendes Ufer ihr weiteres Fortschreiten unmöglich machte.

Diese Kräfte sind nach der zuerst von Newton gegebenen Er-

klärung nichts anderes, als die Schwere oder die allen materiellen Stoffen gemeinsame gegenseitige Anziehung.

Fig. 15 stelle in *S* den Mittelpunkt der Sonne, in *C* den der Erde dar. Indem letztere sich um die erstere bewegt, so würde die Erde der Richtung des Weges folgen, den sie momentan durchläuft, wenn keine andere Kraft auf sie einwirkte, und sie würde die Tangente nicht verlassen und geradlinig das Universum durchschneiden. Es besteht aber gegenseitige Anziehung zwischen Sonne und Erde, die letztere fällt also fortwährend der ersteren zu, so wie umgekehrt, jedoch wegen der viel größern Masse in weit geringerem Grade, auch die Sonne gegen die Erde, und beide beschreiben gewisse geschlossene Bahnen. Die verschiedenen Massentheilchen des Erdballs werden aber nicht in gleicher Weise von der Sonne angezogen, denn die Stärke der Anziehungskraft ist von der Entfernung der beiden sich anziehenden Körper abhängig, und zwar ist diese Kraft umgekehrt dem Quadrate des Abstandes proportional. Sonach erleidet derjenige Theil der Erdoberfläche, welcher der Sonne zugekehrt ist, eine stärkere Anziehung, als der Mittelpunkt der Erde, und dieser eine stärkere, als der der Sonne abgekehrte Theil.

Wäre die Erde ein fester Körper, der keine Formveränderung zuliesse, oder der wenigstens bei geringen Differenzen der Anziehung eine verschiedenartige Bewegung der einzelnen Theilchen durch ihre gegenseitige Cohäsion oder auch durch Reibung verhinderte, so würde die Erde mit der Geschwindigkeit, welche dem Abstände des Schwerpunktes entspricht, in ihrer ganzen Masse, ohne daß die Theilchen besondere Bewegungen annehmen, nach der Sonne sich bewegen. Die Erde ist indessen größtentheils mit Wasser bedeckt, dessen leichte Beweglichkeit ihm gestattet, seine Form zu verändern. Obwohl es sich von der Erde nicht trennt, kann es dennoch schneller oder langsamer nach der Sonne fallen, als der feste Theil des Erdkörpers. Auf diese Weise erhebt sich die Wasserfläche im Punkte *A*, indem sie stärker, als der Schwerpunkt der Erde angezogen wird, und sie erhebt sich eben so auch im Punkte *B*, weil sie hier die geringste Anziehung erfährt. So bilden sich an entgegengesetzten Theilen des Erdballes zwei Anschwellungen, oder es stellt sich hier gleichzeitig Hochwasser ein, während in den Punkten *D* und *F* nicht nur keine Erhebung erfolgen kann, sondern sogar eine Senkung ein-

treten muß, die jenen Anschwellungen entspricht. Die Drehung der Erde um ihre Achse veranlaßt aber, daß die Anschwellungen fortwährend weiter rücken. Beide Wellen laufen daher nahe mit der Geschwindigkeit der Umdrehung der Erde in einer Richtung, die dieser entgegengesetzt ist, oder sie bewegen sich in derselben Richtung, in welcher die Sonne scheinbar die Erde umkreist.

Die Fluth, welche der Mond veranlaßt, ist wie bereits erwähnt größer, als die der Sonne, woher nicht der gewöhnliche, sondern der Mondes-Tag die Fluth bedingt. Die Einwirkung des Mondes ist aber der so eben beschriebenen vollkommen gleich, und die Sonne wurde nur deshalb bei dieser Erklärung zuerst erwähnt, weil das Verhältniß in sofern etwas einfacher ist, als mit Rücksicht auf die beiderseitigen Massen das Fallen der Erde sich klarer darstellt, und die entsprechende Bewegung der Sonne nicht weiter beachtet werden durfte.

Der Mond bewegt sich zwar um die Erde, aber abgesehen von der Bewegung der letztern um die Sonne ist auch die Erde in dem Weltraume keineswegs in irgend einer Art befestigt. Die Anziehung zwischen ihr und dem Monde wirkt daher gleichfalls gegenseitig, und beide bewegen sich nach Maaßgabe ihrer Massen fortwährend gegen einander. Wegen der veränderten Stellung des Mondes verändert sich auch stets die Richtung dieser Bewegung der Erde, und wenn der Mond scheinbar wieder an denselben Punkt zurückgekommen ist; so hat auch die Erde den entsprechenden Kreis beschrieben, dessen Ausdehnung mit Rücksicht auf die geringe Masse des Mondes nicht bedeutend ist. Nichts desto weniger ergibt sich hieraus, daß die Erde fortwährend vom Monde angezogen wird, und dieser Anziehung auch folgt. Das Massentheilchen *B* wird aber vom Monde *M* stärker angezogen, als der Mittelpunkt *C*, und das Theilchen *A* schwächer; jenes eilt also der Erde vor, und dieses bleibt hinter ihr zurück. Der Mond verursacht daher eben so, wie die Sonne, zwei gegenüberstehende Fluthwellen, die bei der Drehung der Erde um ihre Achse wieder übereinstimmend mit der scheinbaren Bewegung der Gestirne von Osten nach Westen laufen.

Hat der Mond die in der Figur angedeutete Stellung, oder steht er der Sonne gegenüber, wobei Vollmond statt findet, so vereinigt sich die Fluthwelle, die vom Monde herrührt, mit derjenigen, welche die

verursacht. Die Fluth setzt sich also aus beiden zusammen, und wird dadurch höher, als jede einzeln ist. Dasselbe ist auch der Fall zur Zeit des Neumondes, oder wenn der Mond in der Verbindungslinie, die von der Erde nach der Sonne gezogen wird, zwischen beiden sich befindet.

Zur Zeit des ersten oder letzten Viertels steht der Mond dagegen, von der Erde gesehn, um einen Quadranten von der Sonne entfernt, also in M' . Er bildet alsdann in den Punkten F und D Hochwasser, während die Fluthwellen, die von der Sonne herrühren, ihre Mittelpunkte in A und B haben, und in D und F Niedrigwasser stellen. Der Wasserwechsel in den ersten und letzten Vierteln ist also nur die Differenz zwischen der Fluthhöhe des Mondes und der der Sonne. Er würde in diesem Falle ganz verschwinden, wenn beide gleich groß wären.

Es könnte noch zweifelhaft sein, ob durch die Bewegung der Erde sowol in der Richtung nach der Sonne, als nach dem Monde, die Ausbildung der beiden entsprechenden Fluthwellen nicht gehindert wird, dieses ist indessen keineswegs der Fall. Wie die Stellung des Mondes gegen die Sonne auch immer sein mag, so wird der Mond sehr nahe in derselben Weise, wie die Erde, von der Sonne angezogen; beide sind daher einer gleichen Wirkung unterworfen, oder diese stört nicht ihr gegenseitiges Verhalten, also auch nicht die Ausbildung der vom Monde herrührenden Fluthwellen. Andererseits verhindert die Sonne wieder nicht die von ihr ganz unabhängige Bewegung der Erde gegen den Mond, also auch nicht die Fluthwellen, welche der letztere erzeugt.

Eine einfache Betrachtung ergiebt, daß die von dem Monde herrührende Fluth bedeutend stärker sein muß, als diejenige, welche die Sonne verursacht, auch läßt sich leicht das Verhältniß beider feststellen. Man darf annehmen, daß die Stärke der Fluth, oder die Höhe, zu der das Wasser ansteigt, der flutherzeugenden Kraft proportional ist. Letztere ist aber nichts anderes, als die Differenz der Attractionen, welche der Erdkörper als zusammenhängende Masse, und die nächsten oder entferntesten Theilchen desselben erfahren. Die Attraction, welche irgend ein Körper, also auch die Sonne oder der Mond gegen ein bestimmtes Theilchen des Erdkörpers ausübt, ist proportional der Masse des anziehenden Körpers und umgekehrt proportional dem Quadrate seines Abstandes

von demselben. Wenn sonach diese Masse durch P und der Abstand durch a bezeichnet wird; so ist die Attraction

$$= m \frac{P}{a^2}$$

wobei m eine Constante bedeutet.

Nennt man nun a den Abstand des Mittelpunktes der Erde von dem anziehenden Körper und r den Halbmesser der Erde; so bezeichnet jener Ausdruck nichts anderes, als die Kraft, womit die ganze Erde als fester Körper afficirt wird, oder diejenige Schwerkraft, welche die Geschwindigkeit ihres Fallens nach dem fremden Himmelskörper bedingt. Der Theil der Erdoberfläche, welcher diesem Körper zugekehrt ist, erfährt eine Anziehung

$$= m \frac{P}{(a - r)^2}$$

und der gegenüber befindliche, oder vom anziehenden Körper abgekehrte Theil der Oberfläche

$$= m \frac{P}{(a + r)^2}$$

Die Kraft, welche die Fluthen erzeugt, ist für den ersteren

$$= m P \left(\frac{1}{(a - r)^2} - \frac{1}{a^2} \right)$$

und für den letzteren

$$= m P \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{(a + r)^2} \right)$$

Indem r sehr klein gegen a ist, so sind beide Ausdrücke einander gleich, und verwandeln sich in

$$= m P \cdot \frac{2r}{a^3}$$

Die flutherzeugende Kraft verhält sich also zu der Anziehungskraft, die der Mittelpunkt der Erde erfährt, wie

$$\frac{2r}{a^3} : \frac{1}{a^2} \text{ oder wie } 2r : a$$

also wie der Durchmesser der Erde zum Abstände des anziehenden Himmelskörpers. Diese Kraft ist daher jedenfalls nur sehr klein vergleichungsweise gegen die Anziehung des letztern.

Setzt man die Masse der Erde und ihren Halbmesser gleich Eins, oder mißt man in diesen Einheiten die Größen P und a , so stellen sich die sämtlichen einwirkenden Kräfte in einfachen Be-

ebungen zu der Schwere auf der Erdoberfläche dar. Wenn der Weg, den ein auf der letztern frei herabfallender Körper in der ersten Secunde durchläuft, mit g bezeichnet wird, so ist die Anziehungskraft der Erde nach der ersten Gleichung

$$m \frac{P}{a^2} = g$$

und da in diesem Falle sowol P , als a gleich Eins sind, so folgt

$$m = g = 15,63 \text{ Fufs.}$$

Nach denselben Maafs- und Gewichts-Einheiten, oder vergleichungsweise zu der Masse und dem Halbmesser der Erde ist*)

für die Sonne $P = 354940$

und $a = 24054$

für den Mond $P = 0,0108$

und $a = 60,3$

Die flutherzeugende Kraft der Sonne gegen die ihr zu- oder abgekehrte Seite der Erde ist daher

$$\begin{aligned} m P \frac{2r}{a^3} &= \frac{2gP}{a^3} \\ &= 0,00000005101 \cdot g \\ &= 0,0001146 \text{ Linien,} \end{aligned}$$

die flutherregende Kraft des Mondes dagegen

$$\begin{aligned} &= 0,00000009852 \cdot g \\ &= 0,0002213 \text{ Linien.} \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich, daß die Kraft des Mondes und sonach auch die Höhe des von ihm herrührenden Fluthwechsels zu derjenigen der Sonne ungefähr, wie 2 : 1 sich verhält. Wenn die erste also beispielsweise 10 Fufs beträgt, so wird die letzte nur 5 Fufs sein, und der Wasserwechsel zur Zeit der Springfluthen wird $10 + 5 = 15$ Fufs, zur Zeit der todten Fluthen dagegen nur $10 - 5 = 5$ Fufs messen.***) Dieses Verhältniß zwischen den Springfluthen und todten Fluthen tritt zuweilen und namentlich an der Küste des Oceans wirklich ein, wie sich aus den Fig. 16 graphisch dargestellten Cher-

*) Hansen, allgemeine Uebersicht des Sonnen-Systems in Schumacher's Jahrbuch für 1837.

**) Ein sehr interessanter Vortrag über Fluth und Ebbe von Bessel ist sowohl in Schumacher's Jahrbuch für 1838, als auch in Bessel's „populären Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, Hamburg 1848“ abgedruckt.

bourger Beobachtungen vom 12. März bis 16. April 1831 ergibt. An der Nordsee ist der Unterschied zwischen beiden viel geringer.

Dafs der Mond in allen Fällen von überwiegendem Einflusse ist, ergibt sich vorzugsweise daraus, dafs das Hochwasser an jedem Orte in einer beinahe constanten Stundenzahl nach der Culmination des Mondes eintritt. Die Sonne hat darauf zwar auch einigen Einflufs, doch beschränkt derselbe sich im Maximum auf 44 Minuten. Das Hochwasser geht nämlich mit Rücksicht auf die Hafenzeit des Ortes der Culmination des Mondes voran oder folgt ihr um soviel Minuten, als die zweite Spalte der nachstehenden Tabelle angiebt, wenn die Sonne um die Stundenzahl der ersten Spalte vor oder nach dem Monde culminirt.

Bei 0 Stunden ändert sich die Hafenzeit 0 Minuten

- 1	-	-	-	-	-	16	-
- 2	-	-	-	-	-	31	-
- 3	-	-	-	-	-	41	-
- 4	-	-	-	-	-	44	-
- 5	-	-	-	-	-	31	-
- 6	-	-	-	-	-	0	-

Es ist in hohem Grade überraschend, dafs die mächtigen Fluthwellen durch solche überaus geringfügige und in allen übrigen Erscheinungen gar nicht wahrnehmbare Kräfte veranlaßt werden. Diese Kräfte bewegen nämlich einen ihrer Einwirkung freigestellten Körper, je nachdem sie von der Sonne, oder vom Monde ausgehn, in einer Secunde nur durch den 9000ten oder 4500ten Theil einer Linie. Sie sind in der That bei allen Erscheinungen auf der Erdoberfläche wirksam, oder wirken der Kraft der Schwere periodisch entgegen, doch wird letztere nur etwa um den millionsten Theil dadurch vermindert. Hieraus erklärt es sich, dafs man diese periodischen Aenderungen sonst gar nicht bemerkt. Die genauesten Bestimmungen des Maafses der Schwere oder des Werthes von g ergeben sich aus der Länge des Secunden-Pendels, aber die Genauigkeit, die man hierbei erreichen kann, entspricht noch nicht der Gröfse eines so kleinen Bruches. Auch die aus dieser Veränderung der Schwere entspringende periodische Beschleunigung und Verzögerung des Ganges unserer Uhren, die man aus den astronomischen Beobachtungen am ersten erkennen müfste, entzieht sich

wegen ihrer Geringfügigkeit noch vollständig unsrer Wahrnehmung. Die Uhren in den Sternwarten folgen, soweit die Schärfe der Beobachtung reicht, ganz genau den scheinbaren Bewegungen der Gestirne, also der Umdrehung der Erde. Es läßt sich auch leicht übersehn, daß die Abweichungen in Folge dieser Veränderung der Schwere noch kleiner sind, als die Zeit- oder Raum-Unterschiede, die wir mit unsern Sinnen wahrnehmen können.

Der Fluthwechsel beträgt, wie bereits erwähnt, an den Europäischen Küsten des Atlantischen Oceans durchschnittlich etwa 12 Fuß, stellenweise und namentlich in weiten und regelmäsig geformten Buchten und Strommündungen wird er viel gröfser. Wenn man hiervon absieht und annimmt, wie die Beobachtungen an isolirten Inseln vermuthen lassen, daß der Unterschied zwischen dem hohen und niedrigen Wasser im offenen Meere und zwar unter dem Aequator nur 3 Fuß beträgt, und setzt man voraus, daß dieser Unterschied mit den geographischen Breiten sich vermindert und unter den Polen ganz verschwindet, so überzeugt man sich leicht, daß bei jedem Fluthwechsel, also in $6\frac{1}{4}$ Stunden, 200 Cubikmeilen Wasser aus einem Erdquadrant in den andern übertreten. Diese Wassermasse nimmt aber keineswegs die Geschwindigkeit der Fluthwelle an, indem sie derselben folgt, die Bewegung geschieht vielmehr in gleicher Weise, wie in den gewöhnlichen Wellen bei großer Tiefe. Die einzelnen neben einander stehenden Wasserfäden schwingen rechts und links, indem sie zugleich abwechselnd sich verlängern und verkürzen. Die Periode ihrer Schwingung ist freilich übermäsig ausgedehnt, daher die Bewegung im offenen Meere unmerklich klein; aber jeder Wasserfaden kehrt nach 12 Stunden wieder in seine ursprüngliche Stellung zurück, ohne dieselbe dauernd zu verlassen.

Alle Versuche, die man bisher gemacht hat, die Dimensionen der Erscheinung aus den allgemeinen Gesetzen der Mechanik und aus den astronomischen und geodätischen Messungs-Resultaten herzuleiten, haben noch keinen Erfolg gehabt. Eben so wenig, wie man im offenen Meere, also ganz unabhängig vom Einflusse der Küsten, die Höhe der Fluthwelle oder die Gröfse des Fluthwechsels messen kann, so ist die Bestimmung desselben auch durch Rechnung nicht geglückt, selbst wenn man die Erde als ein rings mit Wasser bedecktes Sphäroid ansieht.

Euler*) faßte die Aufgabe unter dem Gesichtspunkte auf, daß die Erde vollständig von einer Wasserschicht umgeben ist, aber nicht rotirt, während sie von der Attraction des Mondes afficirt wird. Hieraus fand er für die dem Monde zugekehrte Seite eine Erhebung von 3 Fuß.

La Place's Untersuchungen**) über Fluth und Ebbe sind von viel größerer Bedeutung. Sie stellen den Zeitunterschied für den Eintritt des Hochwassers und für das Verhältniß der Fluthhöhen bei Springfluthen und todten Fluthen, so wie deren Abhängigkeit von der Entfernung und der Declination des Mondes und der Sonne nicht nur mit der größten Schärfe dar, sondern es schliessen diese Resultate sich auch an die seit langer Zeit in Brest angestellten Beobachtungen so genau an, daß ein berühmter Astronom***) die Pegelstationen an großen Meeren eine schätzbare Zugabe zu den Sternwarten nennt, welche gleich diesen zur Kenntniß aller Erscheinungen am Himmel führen müssen, die von dem Verhältniß der anziehenden Kräfte der Sonne und des Mondes abhängen.

Nichts desto weniger stellen diese Resultate nicht absolute Maasse, sondern nur Verhältnißzahlen und Zeitunterschiede dar, und zwei Constanten, nämlich die Höhe der Fluthwelle, oder der Fluthwechsel, und die Hafenzeit bei gewissem Stande der beiden anziehenden Himmelskörper müssen für jeden Ort durch unmittelbare und vielfach wiederholte Messung gefunden werden. In dieser Art sind auch die Fluth Tabellen berechnet, die zur Sicherung des Schiffsverkehrs in England und Frankreich jährlich veröffentlicht werden. Die erwähnten beiden Constanten hängen augenscheinlich nur von localen Verhältnissen, das heißt von der Lage und Gestalt der Küsten und von den Meerestiefen ab. Eben so, wie die gewöhnliche Meereswelle beim Auflaufen auf untiefe Stellen sich höher erhebt, als auf dem offenen Meere, auch sich zugleich in so fern wesentlich verändert, daß die Wassermasse nicht nur hin und her schwankt, sondern in dem obern Theile die fortschreitende Bewegung der Welle annimmt, so findet dasselbe auch bei der Fluthwelle statt. Beim

*) In den neuen Commentarien der Petersburger Academie, übersetzt und zusammengestellt von Brandes, unter dem Titel: Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper. Leipzig 1806. Seite 90.

**) Traité de mécanique céleste. Vol. II. Liv. VI.

***) Bessel, Populäre Vorlesungen. Hamburg 1848. Seite 201.

Eintritt in Buchten, die sich regelmässig verengen, sowie auch vor manchen Küsten gewinnt sie eine viel grössere Höhe, und es erzeugen sich zugleich sehr heftige Strömungen, die noch dadurch verstärkt werden, dass die dahinter liegenden Bassins bei der langen Periode der Fluthwelle sich jedesmal anfüllen und wieder entleeren.

Die Bewegung der Fluthwellen lässt sich am sichersten erkennen, wenn man die Hafenzeiten verschiedener Orte mit einander vergleicht. W. Whewell unternahm es zuerst, die Nachrichten, welche in einzelnen Schriften und namentlich in Berichten über Seereisen enthalten sind, möglichst vollständig zu sammeln, und nachdem alle Angaben auf Greenwicher Zeit reducirt waren, dieselben in Charten zusammenzustellen.*) Indem diejenigen Punkte, welche gleiche Hafenzeit haben, durch Linien mit einander verbunden werden, so zeigen diese Charten, wie der Kamm der Fluthwelle von Stunde zu Stunde fortschreitet. Indem man aber die Beobachtungen nur an den Küsten, nicht aber im offenen Meere anstellen kann, so sind die Linien oft nur durch einzelne Punkte gegeben, ihre Richtung bleibt also unbekannt. Nichts desto weniger lässt sich dennoch auch diese aus den Abständen der Punkte, wo die Hafenzeiten um eine Stunde verschieden sind, annähernd beurtheilen, und häufig geben auch Inseln, die in weiter Entfernung von der Küste liegen, einen sehr sichern Anhalt.

Diese Zusammenstellung zeigt nun sehr deutlich, dass die Fluthwelle im Süden der grossen Continente sich bildet, und von hier sowol in den Stillen, als in den Atlantischen Ocean eintritt, und in beiden sich im Allgemeinen nordwärts bewegt. Aber auch jenseits des Vorgebirges der guten Hoffnung und des Cap Horn zeigen sich schon sehr auffallende Anomalien, die wahrscheinlich von unbekannten grossen Inseln oder Continenten herrühren, welche die freie Bewegung des Wassers auch hier hindern. An der östlichen Küste von Afrika tritt die Fluthwelle beinahe in der Länge von vierzig Breitengraden gleichzeitig ein, während sie im Atlantischen Ocean schon 5 Stunden braucht, um vom Vorgebirge der guten Hoffnung bis zur Küste von Guinea zu gelangen. Bei Neuholland wie-

*) *Essai towards a first approximation to a map of Cotidal Lines.* In den *Philosophical Transactions.* 1833. Part I.

derholt sich dieselbe Unregelmäßigkeit und zum Theil auch bei Amerika. Die ganze Küste von Florida bis Neu-Schottland wird gleichzeitig von der Fluthwelle erreicht.

Es ergiebt sich ferner aus diesen Charten, daß die Fluthwelle über 24 Stunden braucht, um von dem Vorgebirge der guten Hoffnung bis an die Küste von Frankreich zu gelangen, und es dauert außerdem noch einen Tag, bis sie zwischen Island und Schottland nach der Nordsee kommt und die Mündung der Themse erreicht. Hieraus erklärt es sich, daß die größten und kleinsten Fluthwechsel oder die Springfluthen und todten Fluthen an den Europäischen Küsten nicht zur Zeit der Mondphasen, sondern $1\frac{1}{2}$ bis 2 Tage später eintreten.

Ob diese secundären Fluthwellen, welche oft ihre Richtung verändern, und zuweilen sogar, wie im Norden von Schottland und im Canale zwischen Frankreich und England, von Westen nach Osten laufen, durch die Anziehung des Mondes und der Sonne theilweise geschwächt und verstärkt werden, ist unbekannt. Eine besondere Erwähnung verdient aber der Fall, wenn die Fluth eine Insel trifft, und an deren beiderseitigen Ufern die Welle sich fortsetzt. Diese getrennten Wellen vereinigen sich wieder an einer bestimmten Stelle, und bei besonderer Gestaltung der Ufer erhebt sich hier die Fluth zu einer ungewöhnlichen Höhe. Dieses geschieht z. B. zwischen der Insel Long-Island und dem Staate Connecticut in einer besonders engen Stelle ohnfern des Hudson. Der Fluthwechsel an der südlichen Küste von Long-Island beträgt bei Springfluthen nur 5 bis 6 Fufs, an der erwähnten Stelle aber bis 20 Fufs, indem die beiderseitigen Fluthwellen hier (bei Hellengate) zusammentreffen und gegen einander stoßen. Die Industrie hat von diesem zufälligen Umstande auch Vortheil gezogen und Trocken-Docks daselbst angelegt, welche die größten Schiffe aufnehmen und durch den natürlichen Abfluß bei Niedrigwasser wieder trocken gelegt werden.

Dagegen kann es auch geschehn, daß eine der beiden Wellen viel früher an den Vereinigungspunkt gelangt, als die andre, und daß vielleicht sogar auf dem einen Wege Hochwasser und auf dem andern Niedrigwasser gleichzeitig eintritt. Alsdann wird der Fluthwechsel auf die Differenz beider reducirt, und verschwindet beinahe ganz. Dieses geschieht an der Holländischen Küste. Die Fluth-

alle dringt in die Nordsee eben sowol durch den Canal, wie auf der Nordseite von Schottland. Wenn die Fluthwelle aber auf dem ersten Wege schon bis Peterhead, auf der östlichen Küste von Schottland angelangt ist, so hat sie im Süden von England nur so fern Calais und Dover erreicht. Diese letzte Welle setzt in der angenommenen Richtung ihre Bewegung längs der Belgischen und Niederländischen Küste fort. An der weit vortretenden Ecke von Nordholland trifft die von Norden herabkommende Fluth ungefähr 6 Stunden früher ein, als diejenige, welche den Canal durchfließen ist. Beide heben sich sonach beinahe vollständig auf. Der mittlere Fluthwechsel an der ganzen südlichen Küste der Nordsee beträgt ungefähr 12 Fuß, am Marsdiep und im Hafen Nieuwen-Diep dagegen nur 1,13 Meter, also 3,6 Fuß.

Es leuchtet an sich ein, daß an solchen Küsten, welche von zwei verschiedenen Fluthwellen in verschiedener Zeit getroffen werden, ungewöhnlich hohe Fluthen viel leichter eintreten können, als in großen Meeren. Wenn starke Winde eine oder die andere Fluthwelle beschleunigen oder zurückhalten, so kann leicht das gleichzeitige Eintreffen beider ihre gewöhnliche Höhe verdoppeln. Dieser Fall ereignet sich bei anhaltenden westlichen Stürmen an der ganzen Deutschen Küste der Nordsee, und der Grund hiervon ist ohne Zweifel, daß alsdann die durch den Canal dringende Welle beschleunigt und verstärkt wird. Man nennt diese Fluthen Sturmfluthen und sie erheben sich bis 12 Fuß über die gewöhnliche Höhe. An der Englischen und Französischen Küste sind sie meist ganz unbekannt, denn wenn Stürme auch hier einige Anschwellung veranlassen, so ist dieselbe doch niemals so bedeutend, daß sie gegen die Differenzen zwischen Springfluthen und tothen Fluthen in Betracht käme. Diese letzten Differenzen sind aber an der Deutschen Nordseeküste ziemlich unbedeutend. Nach den an der Jade im Jahre 1855 angestellten Beobachtungen mißt der Fluthwechsel durchschnittlich

in den Springfluthen 13 Fuß 2,8 Zoll
und in den tothen Fluthen 11 Fuß 1,7 Zoll.

Die Höhen stehn daher im Verhältnisse, wie 19 zu 16, und in ähnlicher Weise verhält es sich an der Mündung der Weser und Elbe, während in den Französischen und Englischen Häfen das Verhält-

nifs durchschnittlich wie 2 : 1 sich herausstellt und an manchen Stellen, wie bereits erwähnt, 3 : 1 ist.

In nahem Zusammenhange hiermit steht auch die lange Dauer des Hochwassers in einzelnen Häfen. Gemeinhin kann man nämlich, wenigstens am offenen Meere, wenige Minuten nachdem das Steigen aufgehört hat, schon das Fallen des Wassers bemerken. In den Flußmündungen verlängert sich aber die Dauer des Hochwassers sehr bedeutend, so z. B. an der Mündung der Orne auf $1\frac{1}{4}$ Stunden und nahe eben so groß ist sie auch im Hâvre. Für die Schifffahrt ist dieser Umstand sehr vortheilhaft, weil alsdann das Aus- und Eingehn der Schiffe mit größerer Bequemlichkeit erfolgen kann.

Sehr wichtig ist die Frage, in welchem Maasse das Wasser von Stunde zu Stunde während einer vollen Fluthperiode steigt und fällt, oder welches die Curve der Fluthwelle ist, während letztere an einem Beobachtungsorte vorübergeht. Aus der obigen Entwicklung der flutherzeugenden Kraft des Mondes oder der Sonne läßt sich diese Curve leicht herleiten, wenn man wieder die an sich begründete Voraussetzung macht, daß die Erhebung des Wassers jener Kraft proportional ist.

Diese Kraft war gleich $mP\frac{2r}{a^3}$, indem m eine Constante, P die Masse des anziehenden Himmelskörpers, a dessen centralen Abstand von der Erde und r den Halbmesser der letzteren bezeichnet. Der Einfachheit wegen nehme man an, der untersuchte Punkt A auf der Erdoberfläche befinde sich unter dem Aequator, und die durch den letzteren und durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene treffe in weiter Entfernung auch den anziehenden Himmelskörper M . Diese Voraussetzungen sind keineswegs ganz richtig, sie entfernen sich jedoch nicht weit von der Wahrheit und stellen insofern die wirklichen Verhältnisse annähernd dar, als die Fluthwelle in niedrigen Breiten sich erzeugt, und die Declinationen der anziehenden Himmelskörper bald nördlich und bald südlich sind. Der Punkt A durchläuft nach Fig. 17 den Weg $DAEGF$. In der Richtung CM befinde sich der betreffende Himmelskörper, und von der auf CM gezogenen senkrechten Linie CD ab messe man den Winkel φ , den der Punkt A durchlaufen hat. Der Abstand des letzteren von dem anziehenden Körper M ist alsdann bei der sehr großen Entfernung desselben um $r \sin \varphi$ kleiner, als der des Mittelpunktes der Erde. Dar-

aus ergibt sich die flutherzeugende Kraft in der Richtung AM , die zu CM sehr nahe parallel ist, gleich

$$m P \frac{2 r \sin \varphi}{a^3}$$

und wenn man diese Kraft auf den verlängerten Radius CA projectirt, so erhält man die Erhebung des Wasserstandes, die mit y bezeichnet wird,

$$\begin{aligned} y &= 2 m \frac{Pr}{a^3} \sin \varphi^2 \\ &= m \frac{Pr}{a^3} (1 - \cos 2 \varphi). \end{aligned}$$

Wenn sonach ein Kreis, dessen Durchmesser dem ganzen Fluthwechsel, oder dessen Radius dem halben Fluthwechsel zwischen Hoch- und Niedrigwasser gleich ist, auf einer geraden Linie gleichmäßig rollt, und der von dem Niedrigwasser ab zurückgelegte Weg durch den entsprechenden Winkel oder durch 2φ bezeichnet wird, wie Fig. 18 zeigt, so ist an jeder Stelle, wo der Kreis sich befindet, die Fluthhöhe gleich dem Sinus versus dieses Winkels. Auf diese Art bildet sich das Profil der Fluthwelle über dem Halbkreise DEG (Fig. 17), dasselbe Profil stellt sich aber auch auf dem gegenüberstehenden Halbkreise GFD dar, welcher dem anziehenden Himmelskörper abgewendet ist.

Bei der Drehung der Erde bewegt sich der feste Punkt A vergleichungsweise gegen den Stand des anziehenden Himmelskörpers rings um den Kreis $DEGFD$, und indem diese Drehung erfolgt, so stellen sich in ihm zwei vollständige Fluthperioden ein. Das so eben hergeleitete Gesetz ist aber zugleich der Ausdruck für die Curve der Fluthwelle, wenn die Abscissen der Zeit proportional angenommen werden. Fig. 18 zeigt diese Curve.

Dieses Gesetz ist, soviel bekannt, zuerst von La Place*) ausgesprochen worden. Die Curve, welche es darstellt, ist nichts anderes, als die gewöhnliche Sinuslinie, wenn man die Abscissenlinie durch den Mittelpunkt des rollenden Kreises legt. Es muß aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Maafsstäbe, welche man für die Abscissen und Ordinaten wählt, von einander ganz unabhängig sind, weil die erstern, Zeiten und die letztern, Längenmaasse darstellen.

*) *Traité de mécanique céleste. Tome II, Livre IV. Chap. 3. Nr. 17.*

Minard*) erwähnt, daß die Beobachtungen auf freiliegenden Küstenpunkten diese Curve sehr nahe wiedergeben. Nach einigen von ihm mitgetheilten Profilen und namentlich nach dem bei Lorient gemessenen ist dieses allerdings der Fall. Eine noch größere und gewiß überraschende Uebereinstimmung mit diesem Gesetz giebt sich dagegen in einer Beobachtungs-Reihe zu erkennen, die Brahms**) früher, als das Gesetz bekannt war, mitgetheilt hat. Der Beobachtungsort ist nicht näher angegeben, es wird nur gesagt, die Tabelle weise nach, wie die Fluth und Ebbe auf der Jade steige und falle. Wahrscheinlich sind die Messungen nahe an der Mündung der Jade, vielleicht in Hoch-Siel gemacht, denn weiter südlich bei Heppens üben die ausgedehnten Wattgründe in dem weiten Busen der Jade schon einen sehr störenden Einfluß aus, wie in Folgendem gezeigt werden wird.

Indem das Werk von Brahms bereits ziemlich selten geworden ist, so theile ich nachstehend diese Tabelle vollständig mit:

Fluth.			Ebbe.		
Zeit.		Wasserstand.	Zeit.		Wasserstand.
Niedrig- wasser	6 Uhr 45 Min.	0 Fufs 0 Zoll	1 Uhr 0 Min.	11 Fufs 11 1/4 Zoll	
	7 - 0 -	0 - 1 1/4 -	1 - 15 -	11 - 9 -	
	7 - 15 -	0 - 4 -	1 - 30 -	11 - 6 1/4 -	
	7 - 30 -	0 - 7 1/4 -	1 - 45 -	11 - 2 1/4 -	
	7 - 45 -	0 - 11 1/4 -	2 - 0 -	10 - 9 1/4 -	
	8 - 0 -	1 - 5 1/4 -	2 - 15 -	10 - 4 -	
	8 - 15 -	1 - 11 1/4 -	2 - 30 -	9 - 10 -	
	8 - 30 -	2 - 5 1/4 -	2 - 45 -	9 - 3 1/4 -	
	8 - 45 -	3 - 1 1/4 -	3 - 0 -	8 - 8 1/4 -	
	9 - 0 -	3 - 9 1/4 -	3 - 15 -	8 - 1 -	
	9 - 15 -	4 - 6 1/4 -	3 - 30 -	7 - 5 -	
	9 - 30 -	5 - 3 1/4 -	3 - 45 -	6 - 8 1/4 -	
	9 - 45 -	6 - 1 1/4 -	4 - 0 -	5 - 11 1/4 -	
	10 - 0 -	6 - 11 -	4 - 15 -	5 - 2 -	
	10 - 15 -	7 - 8 -	4 - 30 -	4 - 5 -	
	10 - 30 -	8 - 4 1/4 -	4 - 45 -	3 - 8 1/4 -	
	10 - 45 -	9 - 0 -	5 - 0 -	2 - 11 1/4 -	
	11 - 0 -	9 - 7 -	5 - 15 -	2 - 4 1/4 -	
	11 - 15 -	10 - 1 1/4 -	5 - 30 -	1 - 10 1/4 -	

*) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer. Paris 1846. pag. 8.
**) Anfangsgründe der Deich- und Wasserbaukunst von Albert Brahms. Aurich (ohne Jahreszahl) Seite 74. Der zweite Theil ist im Jahre 1757 erschienen.

Fluth.		Ebbe.	
Zeit.	Wasserstand.	Zeit.	Wasserstand.
11 Uhr 30 Min.	10 Fufs 7 Zoll	5 Uhr 45 Min.	1 Fufs 4½ Zoll
11 - 45 -	11 - ¼ -	6 - 0 -	1 - 0 -
12 - 0 -	11 - 4¼ -	6 - 15 -	0 - 8 -
12 - 15 -	11 - 7¼ -	6 - 30 -	0 - 5 -
12 - 30 -	11 - 10 -	6 - 45 -	0 - 3 -
12 - 45 -	11 - 11¼ -	7 - 0 -	0 - 2½ -
rw. 12 - 50 -	11 - 11½ -	7 - 15 -	0 - 2½ -

Fig. 19 stellt diese Beobachtungsreihe graphisch dar. Man bemerkt, daß das Niedrigwasser, mit dem die Beobachtungen beginnen, etwa um 2¼ Zoll tiefer herabgesunken war, als dasjenige mit dem sie schließen. Dieser Unterschied ist ungewöhnlich geringe, so desto weniger muß man, wenn man einen sichern Vergleich ziehen will, hierauf Rücksicht nehmen und für den aufsteigenden und abfallenden Schenkel zwei verschiedene Größen des Fluthhalses zum Grunde legen. Thut man dieses, so schließt sich die Linie so genau an die Beobachtungen an, daß die übrigbleibenden Fehler durchschnittlich noch nicht einen halben Zoll, und Maximum nur 2 Zoll betragen. Diese Beobachtungsreihe liefert eine sehr wichtige Bestätigung des oben entwickelten Gesetzes. Einige Meilen weiter südlich, an der von Westen vortretenden Ecke, Veer-Hoek genannt, ohnfern Heppens, wo sich der weit ausgehende Busen der Jade von dem engeren Halse scheidet, zeigt die Fluth-Scale niemals dieselbe Regelmäßigkeit. In den Springfluthen wie in den tothen Fluthen und überhaupt jedesmal, wenn nicht etwa sehr starke Winde eine Aenderung veranlassen, steigt das Wasser in den ersten vier Stunden viel schneller, als in den beiden letzten, und eben fällt es auch im Anfange der Ebbe schneller, als am Ende derselben. Der Grund davon ist ohne Zweifel in den hohen Wattgründen des Jade-Busens zu suchen, welche in der ersten Hälfte der Fluth trocken bleiben, so daß die eintretende Wassermasse anfangs die Rillen oder Baljen zu füllen braucht, während sie später über jene Gründe ergießt und daher einen viel stärkeren Abfluß des steigenden Wassers veranlaßt. Eben so strömt während der zweiten Hälfte der Ebbe noch dauernd das auf den Watten aufgefangene Wasser ab, und verzögert dadurch das Sinken des Wasserstandes am Pegel.

Die Dauer der Fluth und Ebbe sind auch auf dieser Station

sehr nahe gleich, denn durchschnittlich ist die Dauer der Fluth um $8\frac{1}{2}$ Minuten länger, als die der Ebbe. Um die mittlere der Fluthwelle zu bestimmen, wählte ich unter den sehr zahlreichen Beobachtungsreihen 17 aus, die bei ruhiger Witterung angestellt so weit ausgedehnt waren, daß die Zeit und Höhe des Niedrigsers sowol am Anfange, als am Ende der Beobachtungsreihe hinreichend sicher entnehmen liefs. Nachdem für jede dieser Reihen die einzelnen Ablesungen in Zwischenzeiten von 10 Minuten graphisch dargestellt und durch eine möglichst anschließende Curve einander verbunden waren, wurde die Niveau-Differenz zwischen dem Scheitel des Hochwassers und dem des vorhergehenden Niedrigwassers in 20 gleiche Theile getheilt. Die Zeichnung ergab dann die Zeit, in welcher jeder einzelne dieser Höhentheile erwar. In gleicher Art wurde hierauf auch der abfallende Schenkel der Ebbe, und zwar vom Hochwasser bis zu dem auf folgenden Niedrigwasser behandelt. Aus der Verbindung dieser Reihen ergaben sich die Zeiten, in welchen vor und nach dem Niedrigwasser diese verschiedenen Höhen bei der Fluth und der Ebbe erreicht sind. *) Fig. 20 zeigt das Profil der Fluthwelle, wie es aus dieser Untersuchung im mittleren Werthe sich darstellt.

Das rasche Steigen der Fluth und langsame Fallen des Wassers bei der Ebbe tritt an Beobachtungsorten, welche vom offenen Meere noch weiter entfernt sind, und an großen Strömen viel auffallender hervor. Fig. 21 zeigt ein bei Hamburg gewonnenes Fluthprofil. Der Ebbe-Schenkel desselben bildet hier einen sanften Uebergang zu dem folgenden Fluthschenkel. Die Fluthwelle tritt vielmehr plötzlich auf und die Dauer des Niedrigwassers verschwindet daher vollständig. Auch hier bemerkt man, daß die Fluth in den ersten Stunden viel schneller steigt, als in den letzten. Bei der Ebbe findet in geringerem Maasse das Umgekehrte statt. Ehe die Fluth heraufkommt, senkt sich das Wasser abnehmend, doch erfolgt die Senkung in gleichen Zeiten immer langsamer, bis sie durch die neue Welle plötzlich unterbrochen wird. Auch die Dauer des Steigens und Fallens ist sehr verschieden: die Fluth

*) Ueber Fluth- und Boden-Verhältnisse des Preussischen Jade-Gebiets. Monatsberichte der Königl. Academie der Wissenschaften zu Berlin. 1856. 339 ff.

er 4½ Stunden an, während die Ebbe sich auf 7½ Stunden ausstreckt.

In Betreff der Fluthprofile müssen noch manche auffallende Anomalien erwähnt werden. Ueber den Einfluß des Windes, der so bedeutender wird, wenn die Fluth auf zwei verschiedenen Wegen ein Ufer trifft, ist bereits gesprochen worden, so auch von der längeren Dauer des höchsten Wasserstandes, die in manchen Häfen zum großen Vortheil des Schiffahrtsbetriebes eintritt. Besonders bemerkenswerth ist aber, daß an einzelnen Orten in derselben Fluthperiode das Wasser abwechselnd steigt und fällt, also zwei Maxima und zwei Minima in einem Fluthprofile sich bilden. Namentlich geschieht dieses wieder, wenn durch eine davor liegende Insel die Welle getheilt wird und der eine Theil derselben den Beobachtungsort früher erreicht, als der andre. Vor der Mündung der Charente liegt die Insel Oleron, vor der sich ein ziemlich regelmäßiges Fluthprofil zeigt. Durch dieselbe wird indessen der Strom gespalten, und indem ein Theil von diesem die Mündung der Charente früher erreicht, als der andre, so stellen sich in Rochefort zwei verschiedene Hochwasser ein. Dieses geschieht vorzugsweise in der Zeit des ersten und letzten Mondviertels. Während der ersten drei Stunden der Fluth steigt das Wasser regelmäßig 4 bis 5 Fufs, alsdann wird die Zunahme geringer, und nach 4 Stunden bildet sich der erste Hochwasser-Scheitel. Hierauf fällt das Wasser zwei Stunden lang sehr langsam, so daß es sich im Ganzen etwa um 1 Fufs senkt. Alsdann beginnt ein neues Steigen, das nach 2 Stunden den höchsten Scheitelpunkt bildet, der den ersten zuweilen um 2½ Fufs überragt. Bei der nunmehr eintretenden Ebbe sinkt das Wasser sehr schnell auf seinen tiefsten Stand herab. Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch in andern Häfen und schon Smeaton bemerkte sie bei Christchurch auf der westlichen Seite der Insel Wight.

Die sehr vollständigen und genauen Fluthbeobachtungen, welche die Provinz Nordholland bei Nieuwen-Diep anstellen läßt, und von denen noch später die Rede sein wird, zeigen die merkwürdige Erscheinung, daß das Hochwasser sich nahe eine Stunde lang in gleicher Höhe erhält, aber am Anfange oder am Schlusse dieser Periode noch plötzlich bedeutend anschwillt. Diese Anschwellungen sind aber in den auf einander folgenden Fluthen nicht übereinstimmend,

vielmehr liegt der steile Scheitel, den sie darstellen bei den Tagessfluthen auf der einen und bei den Nachtsfluthen auf der andern Seite, und bei andern Positionen des Mondes wechseln beide Scheitel ihre Stellung. Es ergibt sich also hieraus noch eine ganz besondere und eigenthümliche Einwirkung der Sonne, die man gemeinhin nicht bemerken kann.

Noch auffallender wird die Erscheinung an manchen Punkten der östlichen Küste von Asien und zwar in hohen Breiten, woselbst bei gewissen Monds-Positionen nur einmal am Tage die Fluth sich bemerklich macht. Auch bei Tahiti tritt die geringe Fluth nur Mittags ein, und ist vom Monde fast ganz unabhängig.

Was die Größe des Fluthwechsels oder die Niveau-Differenz zwischen Hochwasser und Niedrigwasser betrifft, so ist bereits erwähnt worden, daß dieselbe nicht nur vom Stande und der Entfernung des Mondes und der Sonne von der Erde, sondern auch in hohem Grade von der Lage des Beobachtungsortes und der Gestalt der Küste abhängt. Die Wirkung der astronomischen Verhältnisse läßt sich durch Rechnung bestimmen, die der localen aber nur durch directe Beobachtung. Wie es aber zur vollständigen Bestimmung der Zeit des Hochwassers für jeden Tag genügt, wenn man die Hafenzeit, also die Stunde dieses Eintritts bei Voll- und Neumonden kennt, indem sie für die übrigen Tage sich hieraus leicht herleiten läßt, eben so darf man im Allgemeinen auch nur den Fluthwechsel während der Springfluthen für jeden Hafen feststellen, und es läßt sich daraus wieder der Fluthwechsel und eben so auch die Höhe des Hochwassers und des Niedrigwassers an jedem beliebigen Tage und nach dem bekannten Fluthprofile sogar der Wasserstand in jeder beliebigen Stunde herleiten. In dieser Art sind nun in England, wie auch in Frankreich, durch vielfache Beobachtungen die Fluthwechsel zur Zeit der Springfluthen bestimmt worden, und das mittlere Niedrigwasser zur Zeit der Springfluthen ist in die Hafen- und Küstencharten eingetragen. Die darin eingeschriebenen Zahlen bezeichnen die Tiefen bei diesem Wasser, und eben so auch die Höhe, um welche Sand- und Kiesbänke und Felsen darüber hervorragen. Sobald der Schiffer weiß, wie hoch das Wasser über diesem Niedrigwasser steht, so kann er die Wassertiefen in den Fahrwassern berechnen, die er beim Durchfahren vorfindet. Hierzu setzen ihn die Fluth Tabellen, die in London und Paris jährlich er-

,⁷⁾ vollständig in den Stand. Für die Haupthäfen kann er en und Höhen der beiden täglichen Hochwasser unmittelbar en Tabellen entnehmen, in dem Französischen Annuaire sind em auch die Zeiten und Höhen aller Niedrigwasser angege- Für die in der Nähe liegenden Häfen weist aber eine andre e nach, um wieviel Minuten vergleichungsweise gegen einen Hafen das Hochwasser früher oder später eintritt, auch ob es größere oder geringere Höhe erreicht. Indem endlich noch Tabellen beigelegt sind, welche das Steigen und Fallen des ers von Stunde zu Stunde leicht ermitteln lassen, so kann der er jederzeit wissen, welche Tiefe das Fahrwasser hat, in wel- er einsegeln will.

ch füge für die Hauptpunkte der Englischen und Französischen die erwähnten Höhen - Constanten, nämlich die Größe des wechfels bei gewöhnlichen Springfluthen, in Rheinländischem saße ausgedrückt, bei. Die Vergleichung derselben zeigt sehr h, welchen wesentlichen Einfluß die Gestaltung der Küsten l ausübt.

land und Schottland.	Frankreich.
port . . . 14Fuß 11 Zoll	Entrée de l'Adour 8Fuß 11 Zoll
outh . . . 12 - 2 -	Arcachon . . . 12 - 5 -
. . . 18 - 2 -	Cordouan . . . 15 - 0 -
ees . . . 15 - 6 -	La Rochelle . . 17 - 0 -
i . . . 18 - 11 -	St. Nazaire (Loire) 17 - 1 -
h . . . 11 - 2 -	Le Croisic . . . 15 - 11 -
. . . 20 - 3 -	Port-Louis . . . 15 - 0 -
land . . . 13 - 11 -	Lorient . . . 14 - 3 -
Shields . . 12 - 11 -	Audierne . . . 12 - 9 -
. . . 15 - 10 -	Brest . . . 20 - 5 -
. . . 12 - 9 -	Ile Brèhat . . . 31 - 11 -
ck . . . 9 - 5 -	Saint-Malo . . . 36 - 2 -
ol . . . 25 - 3 -	Granville . . . 39 - 2 -
ad . . . 15 - 6 -	Les Écrehoux . 32 - 8 -
oke . . . 20 - 5 -	Cherbourg . . . 18 - 0 -

England und Schottland.		Frankreich.	
Weston-super-mare	36 Fufs 1 Zoll	Barfleur . . .	18 Fufs 0 Zoll
Irland.		La Hougue . . .	19 - 4 -
Kingstown . . .	10 Fufs 8 Zoll	Port-en-Bessin . . .	20 - 5 -
Belfast	9 - 3 -	Entrée de l'Orne . . .	23 - 5 -
Londonderry . . .	7 - 5 -	Le Havre	22 - 9 -
Sligo Bay	10 - 10 -	Fécamp	24 - 7 -
Galway	14 - 5 -	Dieppe	28 - 0 -
Queenstown(Cork)	11 - 4 -	Cayeux (Somme) . . .	29 - 2 -
Waterford	12 - 0 -	Boulogne	25 - 3 -
		Calais	19 - 11 -
		Dunkerque	17 - 1 -

Es ergiebt sich aus dieser Zusammenstellung, daß der Fluthwechsel an der freien Küste des Atlantischen Oceans und eben so auch an der Nordsee, und zwar in den Springfluthen, nicht größer ist, als etwa 12 Fufs. Auch an der Deutschen Nordsee-Küste stellt er sich ungefähr eben so groß heraus. Er wächst jedoch bedeutend an, sobald die Fluthwelle gegen eine ihr entgegenstehende Küste läuft. Dieses geschieht auf der Südseite der Bretagne und besonders im Westen der Halbinsel Cotantin, ohnfern Cherbourg. In gleichem Maasse und zum Theil noch höher schwillt die Welle an, wenn eine trichterförmig verengte Bucht sie aufnimmt. Hierdurch erklären sich die bekannten höchsten Fluthen bei Granville und in der Mündung des Severn. Sind die Buchten dagegen der Bewegung der Fluthwelle nicht zugekehrt, so vermindert sich der Fluthwechsel, wie bei Londonderry und Belfast. Der Canal zwischen England und Frankreich wirkt gleichfalls wie eine solche trichterförmig geöffnete Bucht. Bei Portsmouth mißt der Fluthwechsel nur 12 Fufs. Er vergrößert sich aber bei Dover bis 18 Fufs. An der Französischen Küste ist er bei Cherbourg und Barfleur 18 Fufs. Er schwillt an der Mündung der Somme bis 29 Fufs an und vor Boulogne beträgt er noch 25 Fufs, während er bei Calais, das schon jenseits der engsten Stelle liegt, nur noch 20 Fufs mißt. In der geringen Entfernung bis Dunkerque nimmt er um 3 Fufs ab, und an der Belgischen Küste ermäßigt er sich sehr schnell wieder auf 12 Fufs.

Weiterhin an den Ufern der Nordsee tritt die merkwürdige Erscheinung ein, daß in Folge der Begegnung der Fluthwellen, die

6. Fluth im offenen Meere.

h den Canal zwischen England und Frankreich, am Schottland in die Nordsee treten, der Fluth ordentlich ermäßigt. In welcher Art diese Veränderung bereits erwähnt, wie sehr aber die Fluth dadurch verändert abt sich aus den an der Niederländischen Küste an sehr augenscheinlich. Die Hauptresultate derselben stehenden Zusammenstellung enthalten, man darf die unmittelbar mit den vorstehenden vergleichen, Fluthwechsel bei Springfluthen, vielmehr den mittleren Fluthen bezeichnen, die Maafse sind also in beiden und die Angaben würden sich hier einstellen, gleicher Weise, wie in England und Frankreich die Fluthen berücksichtigt wären.

erschien angemessen, auch für einige Orte, die höher an Strömen liegen, den Fluthwechsel, der überall auf Rheins Fußmaafs reducirt ist, beizufügen.“)

I. An der Niederländischen Meeresküste.

Orte	mittlerer Fluthwechsel	
West-Cappelschen Deiche	11 Fuß	0 Zoll
rens, Mündung der Wester-Schelde . . .	11	8 -
Mündung der Oster-Schelde	11	9 -
Mündung des Krammer	8	3 -
ee	6	5 -
voetsluis	4	11 -
le	4	9 -
side	5	7 -
ijk	5	4 -
n	5	0 -
ven-Diep	3	7 -
l im Hafen Oude-Schild	3	4 -
und, im Hafen	5	3 -
belling im Hafen	5	2 -
und	6	3 -

Alle Angaben sind entnommen aus dem Jaarboekje van de Leden van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs. 1861.

bei Rottum	7 Fufs 5
bei Delfzijl	8 - 3

II An den Niederländischen Strömen.

an der Wester-Schelde

bei Vliessingen	11 Fufs 9
bei Ter-Neuren	12 - 7
bei Bath	13 - 6
bei Antwerpen	12 - 9

an der Oster-Schelde

bei Zierikzee	10 - 1
bei Bergen op Zoom	12 - 0

im Krammer

bei Brouwershaven	9 - 7
-----------------------------	-------

im Hollandschdiep

bei Willemstad	6 - 6
--------------------------	-------

an der Maas

bei Rotterdam	4 - 6
bei Dortrecht	5 - 7
bei Gorinchem	1 - 7

am Zuiderzee

bei Harlingen	4 - 0
bei Amsterdam	1 - 2
bei Monnickendam	0 - 8
bei Edam	1 - 1
bei Enkhuizen	1 - 9
bei Medemblik	2 - 3
an der Insel Wieringen	2 - 10

Die erste Zusammenstellung zeigt, wie der Fluthwechsel Niederländischen Küste neben der Insel Texel am geringste von hier ab auf beiden Seiten sehr schnell aber wieder zu Die zweite Zusammenstellung ist dagegen in sofern wichtig, erkennen läßt, daß die Fluth beim Einlaufen in weite Stron die sich bald verengen, an Höhe zunimmt, daß sie dageg

hend geringer wird, wenn sie wie im Zuiderzee durch enge Le in weit geöffnete Binnengewässer gelangt.

Die Vorrichtungen zum Beobachten der Wasserstände der Gewässer, welche der Fluth unterworfen sind, verdienen noch eine besondere Erwähnung. Wollte man die Ablesungen wie an indischen Flüssen geschieht, an bestimmten Tagesstunden vornehmen, so würden sie beinahe ohne Werth bleiben. In manchen Fällen, wo auf diese Beobachtungen wenig Gewicht gelegt wird, ist eine Anordnung getroffen, daß die Ablesungen zur Zeit des höchsten und des niedrigsten Wassers erfolgen, und dabei zugleich die Zeit des Eintritts derselben notirt werden sollen. Es ist indessen etwas schwierig, solche Vorschrift bei dem steten Wechsel des Wasserstandes und bei dem grossen Einflusse der Witterung auf dieselben so zur Ausführung zu bringen, daß die Messungen die nöthige Schärfe wirklich haben. Der Beobachter muß in diesem Falle selbst bei normalen Fluthen wenigstens eine Viertel Stunde lang am Pegel sich aufhalten, und wenn er den höchsten und niedrigsten Wasserstand auch genau genug angiebt, so wird es ihm doch nicht gelingen, die Zeit des Eintritts desselben richtig zu bezeichnen, so lange er nicht in kurzen Zeit-Intervallen die Höhen notirt, und aus den Curven, die sich hierdurch bestimmen, auf die Lage der Scheitelpunkte schliesst. In der Regel wird er den Zeitpunkt, in welchem er die entgegengesetzte Bewegung schon bemerkt, als denjenigen ansehen, wo der Wechsel erfolgt, also wird er die Zeiten um einige Minuten zu spät notiren. Wenn aber vollends die Fluthen sich verfrühen oder verspäten, wie häufig geschieht, so kann leicht der Wasserwechsel unbeachtet vorübergehn, und es werden dann willkührliche Angaben in die Tabellen geschrieben.

Um wenigstens die höchsten Wasserstände sicher zu erkennen, liess schon Brahm an den Oldenburger Deichen einen selbstregistrirenden Pegel ein. Er stellte nämlich in einen Falz am Siele einen starken hölzernen Stab, in welchen in Abständen von einem Fuss kleine Löcher in schräger Richtung abwärts eingebohrt waren. Die ganze Stab wurde sehr stark mit Oel getränkt, damit das Wasser, welches in die Löcher trat, sich nicht in das Holz einziehen konnte. Ausserdem sorgte er bei der Aufstellung dafür, daß dieser Stab wenigstens von starkem Wellenschlage nicht getroffen wurde. In denjenigen Löchern, in welche das Hochwasser eintrat, blieben längere

gere Zeit hindurch gefüllt und so konnte man mehrere Stunden nachher, wenn man den Stab auszog und niederlegte, noch erkennen, wie hoch die Fluth gestiegen war.

Viel zweckmäßiger sind die Einrichtungen, die man in neuerer Zeit vielfach zu diesem Behufe getroffen hat. Zunächst pflegt man nicht an einem gewöhnlichen Pegel im Vorhafen den Wasserstand abzulesen, weil theils die Wellenbewegung keine Schärfe gestattet, und theils bei dem steten Wechsel des Wasserspiegels die Latte sich so schnell mit Schlamm überzieht, daß die Eintheilung in kurzer Zeit nicht mehr zu erkennen ist. Der Wasserstand wird daher in einem brunnenförmigen Bassin gemessen, welches durch einen Canal oder eine Röhre von mäßigen Dimensionen mit dem Vorhafen in Verbindung steht, und bis unter das niedrigste Wasser herabreicht. Hierdurch wird der Einfluß der Wellen schon in hohem Grade aufgehoben. Wenn in diesem Brunnen auch gewisse feste Marken angebracht sind, um den ganzen Apparat immer prüfen und berichtigen zu können, so erfolgt die Ablesung doch nicht an einem feststehenden Maafsstabe, vielmehr an einem Zeiger, der durch einen Schwimmer aus Kupferblech in Bewegung gesetzt wird. Letzterer muß hinreichend groß sein, um nicht durch die Reibung beim Anlehnen an die Seitenwand in seiner vertikalen Bewegung gehindert zu werden, und am vortheilhaftesten ist es, durch besondere Führung dieses Berühren der Wände vollständig zu verhindern.

Fig. 22 zeigt den Durchschnitt und die Einrichtung des Pegels, der schon vor längerer Zeit neben dem Vorhafen des Kriegshafens bei Cherbourg erbaut wurde. Der Brunnen, mit Werksteinen eingefast, stand mittelst eines gewölbten Canales mit dem Vorhafen in Verbindung. Ueber ihm war ein leichtes hölzernes Gebäude errichtet und hierin befand sich zunächst ein eisernes Rad *A*, über welches eine kupferne Kette ohne Ende geschlungen war. Diese griff mit ihren Schaaken in besondere Zähne des Rades ein, und setzte dadurch dieses in Bewegung, sobald der an ihr befestigte Schwimmer *C* sich senkte. Damit sie aber auch beim Ansteigen des Schwimmers der Bewegung folgte, so trug sie an der andern Seite ein angemessenes Gegengewicht *D*, welches ihr stets die nöthige Spannung gab. Indem die Kette, wie die Figur zeigt, auch unten geschlossen ist, so bleibt sie jederzeit an sich im Gleichgewichte und eine Störung des Letzteren, die allerdings eine verschiedene Ein-

g des Schwimmers zur Folge haben würde, tritt nur insofern, als das Gegengewicht D sich zuweilen über das Wasser erhebt. Bei dem großen specifischen Gewichte desselben und bei dem bedeutenden Querschnitte des Schwimmers bleibt der hierdurch entstehende Fehler indessen überaus geringe, und es hindert nichts, denselben besonders Rechnung zu tragen, indem alle dazu nöthigen Daten gegeben sind. Das Rad A dreht sich demnach bei jeder Veränderung des Wasserstandes um einen entsprechenden Winkel. Da es jedoch bei dem bedeutenden Fluthwechsel, als man ihm keine übermäßigen Dimensionen geben konnte, nur wenige Revolutionen machte, so liefs sich der zur Ablesung dienliche Zeiger nicht unmittelbar an ihm anbringen. Aus diesem Grunde greift ein daran befindliches Getriebe in ein zweites Rad B , und dieses trägt an seiner Achse den Zeiger, der den Wasserstand anzeigt. Ohne Zweifel ist hierdurch die Beobachtung sehr erleichtert. Außerdem befinden sich an beiden Seiten des eingetheilten Bogens, der die Wasserstände anzeigt, noch zwei lose Zeiger, die von dem ersten gefafst und soweit zurückgeschoben werden, als sich bewegt. Dieselben lassen also später erkennen, bis zu welcher Höhe das Wasser gestiegen oder herabgesunken ist. Die Achse, welche den ersten Zeiger trägt, verlängert sich auf der gegenüberstehenden Seite noch soweit, daß sie aus der Wand des Geräthes heraustritt und hier auf einem zweiten Zifferblatte jedem Vorübergehenden den Wasserstand anzeigt.

Außerdem werden die erwähnten Schwimmer in neuester Zeit auch sehr häufig mit Vorrichtungen versehen, wodurch der jedesmalige Wasserstand mit Angabe der Zeit, in der er eingetreten ist, selbst aufzeichnet. Man nennt dieses selbstregistrirende Pegel. Fig. 23 stellt in der wesentlichsten Zusammensetzung denjenigen Apparat dieser Art vor, der in England vielfach in Seehäfen benutzt wird. An dem Kupferdrahte A befindet sich der Schwimmer, der wieder in einem Brunnen übereinstimmend mit dem Wasserstande im Vorhafen sich hebt und senkt. Der Draht ist um die Trommel B geschlungen, und da man in der darzustellenden Scale die Höhenunterschiede nicht in der natürlichen Gröfse, sondern in kleinerem Maafsstabe wiedergeben will, so hängt der eiserne Block E , der zugleich das Gegengewicht bildet und den zeichnenden Stift F trägt, an einem zweiten Drahte, der um die kleinere Trommel D

geschlungen ist. Beide Trommeln sind an derselben Achse befestigt und bewegen sich also übereinstimmend. Der schwere Block *K* wird aber zwischen gehobelten Schienen so sicher geführt, daß er sich nur heben und senken, aber keine seitliche Bewegung machen, noch schwanken kann. Der Stift *F* wird durch eine sanft gespannte Feder vorgeschoben und lehnt sich daher mit geringem Drucke gegen die vertikale Walze *G*. Letztere steht mit einem Uhrwerke in Verbindung und wird durch dieses in 24 Stunden einmal umgedreht. Wenn man sonach um diese Walze einen darauf passenden und vorher mit entsprechenden Parallellinien versehenen Bogen legt und daran befestigt, so zeichnet der Stift auf denselben die Wasserstände eines Tages als eine Curve auf, deren Abscissen die Zeiten sind. Jene erwähnten Parallellinien die auf das sorgfältig behandelte Papier vorher aufgedruckt sind, haben theils vertikale, theils horizontale Richtungen. Die horizontalen Linien bezeichnen die Höhen-Maasse, die vertikalen dagegen die Stunden. Daß die Papierbogen vor dem Auflegen auf die Walze genau beschnitten, auch gegen passende Ränder der Walze gelehnt und sicher dagegen befestigt werden müssen, bedarf kaum der Erwähnung, ich muß aber hinzufügen, daß nach den mir gemachten Mittheilungen das Abnehmen des einen und Aufbringen des andern Bogens nicht mehr als eine halbe Minute in Anspruch nimmt, also die graphische Darstellung der Wasserstands-Curve an jedem Tage nur eine höchst geringe Lücke hat, woher man beim Zusammenstellen dieser Scaln ein vollständiges Bild der Fluthwellen gewinnt. Ich muß bemerken, daß auch hier noch besondere feste Pegel angebracht sind, durch deren Beobachtung und Vergleichung mit dem beschriebenen Apparate man sich leicht überzeugen kann, ob letzterer die Wasserstände richtig angiebt, oder ob vielleicht die Stellung des Stiftes einer Berichtigung bedarf. Der Stift ist ein feiner Cylinder aus Reifsblei, der aus einer entsprechenden Röhre vortritt und eine zwar nicht sehr feine, doch aber klare und leicht erkennbare Linie auszieht.

Dieselbe Einrichtung ist auch sonst, wenngleich mit manchen Modificationen zu demselben Zwecke gewählt. Namentlich ist man insofern davon abgewichen, als man das Reifsblei verworfen und dafür einen Kupferdraht gewählt hat, der in eine stumpfe Spitze ausläuft. Man erreicht dabei den Vortheil, daß Letztere sich nicht

ist und zugleich eine viel feinere Linie beschreibt, die aber durch Färbung dargestellt wird, sondern sich nur in das Papier eindrückt. Nichts desto weniger ist auch diese bei angemessener Spannung der Feder leicht zu erkennen und kann durch Nachzeichnen mit Tusche noch klarer dargestellt und fixirt werden.

Einige andere Abänderungen sind noch bei dem im Helder aufgestellten Apparate angebracht.^{*)} Der grofse Schwimmer ist mit einer hölzernen Latte verbunden, welche unmittelbar den jedesmaligen Wasserstand gegen einen festen Nonius ablesen läfst. An mehreren Maaßstäben daneben wird je eine Klemme erfaßt, die den nächst vorhergegangenen höchsten und den niedrigsten Wasserstand anzeigt. Die Uebertragung der Bewegung des Schwimmers auf den Block und auf den zeichnenden Stift erfolgt nicht durch Drähte, sondern durch gezahnte Stangen. Die Uhr dreht aber nicht einen Cylinder, um den das Papier geschlungen wird, sondern zieht einen Rahmen horizontal vor, und dieser nebst dem darauf gespannten Papier hat solche Gröfse, daß die jedesmalige Zeichnung zwei Tage umfaßt. Zur Controlirung des Apparates und natürlich, um sich zu überzeugen, daß der Schwimmer stets gleichmäßig eintaucht, ist ganz unabhängig von demselben noch ein zweikupferner Schwimmer in dem Brunnen angebracht, der gleichfalls eine eingetheilte Scala trägt. Noch muß erwähnt werden, daß der Brunnen nicht vom Hafen Nieuwendiep aus, sondern aus dem IJdiiep, oder aus dem Strome zwischen dem Helder und der Inxel gespeist wird, und zu diesem Zwecke eine lange eiserne Röhre von 9 Zoll Durchmesser unter den Hauptdeich gelegt ist. Da die Röhre aber bei dem sehr unreinen Wasser leicht sich verstopfen kann, so mußte auf deren periodische Reinigung Rücksicht genommen werden. Zu diesem Zwecke ist gleich bei der Anlage eine Kette hindurchgezogen, deren äußeres Ende von einer Buoye im Meere schwimmend erhalten wird, und deren anderes Ende neben dem Brunnen befestigt ist. Diese Kette ist mit einem Räumer versehen, und wenn man sie hin- und herzieht, so entfernt der letztere den erdigen Niederschlag aus der Röhre.

^{*)} Beschrijving der zelfregistrerende peilschaal aan den Helder van C. J. A. M. Sterr, in den Verhandelingen van het koninklijk Institut van Ingenieurs. — 1853. pag. 51.

Endlich führe ich noch an, daß man diese Apparate auch in der Art verändert hat, daß das aufgespannte Papier vorher mit den Linien bezeichnet wird, welche sowohl die Höhen als die Zeiten angeben, und wobei leicht durch unrichtige Befehle fehlerhafte Angaben veranlaßt werden könnten. Es wird ein fester Stift über oder unter dem beweglichen angebracht, welcher dieser zieht eine gerade Linie in bestimmter Höhe. Die verschiedenen Abstände beider Linien ergeben alsdann die Wasserstände, zugehörigen Zeiten findet man leicht, wenn man jedesmal die Stunde und Minute notirt, in welcher nach dem Aufspannen eine Papierbogens der Apparat in Thätigkeit gesetzt und schließlich wieder ausgerückt wird.

§. 7.

Fluth und Ebbe in der Ostsee.

In die Binnenmeere, welche nur durch schmale Oefnungen mit dem Weltmeere verbunden sind, dringt die Fluthwellen. Zweifel gleichfalls ein, indem sie aber nach ihrem Eintritt sich ausbreitet, so nimmt ihre Höhe, oder der Fluthwechsel so zu, daß er sich den gewöhnlichen Beobachtungen gemeinhin gleich zieht. Das Mittelländische Meer zeigt an manchen Stellen vorzugsweise gegen das Ende des Adriatischen Meeres einen bedeutenden Fluthwechsel, während ein solcher an andern Orten namentlich an der Französischen gar nicht bemerkbar sein scheint. Dieses wurde mir wenigstens von den Ingenieuren gesagt, als ich in Marseille, Cette und in mehreren andern Häfen mich hier erkundigte. Die bereits erwähnten Französischen Fluthkarten zeichnen dagegen die Hafenzeiten für einige Punkte der französischen Küste, so wie der Italienischen und Illyrischen Küste. Die Gröfse des Fluthwechsels wird aber nicht angegeben.

Ob in der Ostsee eine geringe Fluth statt findet, wird zweifelhaft. Bei Kiel hatte man freilich einen regelmässigen Wechsel des Wasserstandes immer bemerkt. An den der Ostsee gegenüberliegenden Küsten der Dänischen Inseln war ein solcher gewahr genommen, wie Schumacher in einer Anmerkung zu seiner Vorlesung über Fluth und Ebbe sagt, auch war es den Leuten

gerade nicht entgangen, daß bei ruhiger Witterung der Strom in 24 Stunden zweimal ein- und zweimal auszugehen pflegt. Nichts weniger war ganz allgemein die Ansicht verbreitet, daß die Ostsee keine Fluthen habe, und in der That erkannte der Seemann, daß in andern Meeren die großartigen Wirkungen dieser Erscheinung zu sehen, und erfahren hat, welchen wesentlichen Einfluß die Fluth auf den Betrieb der Schifffahrt ausübt, in dem geringfügigen Wasserwechsel von wenigen Zollen, der überdies bei jedem stärkeren Winde verschwindet, die Fluth und Ebbe nicht wieder.

Das lebhafteste Interesse, welches Alexander von Humboldt an diesem Gegenstande nahm, und seine wiederholten Anfragen, ob gar keine Spur der Fluth sich in der Ostsee nachweisen lasse, veranlaßten mich, die in unsern Häfen bisher angestellten Wasserstandsbeobachtungen in dieser Beziehung zu vergleichen. Diese Beobachtungen reichen größtentheils bis in das vergangene Jahrhundert zurück, da sie aber früher nicht in einer bestimmten Stunde gemacht wurden, vielmehr nur den Wasserstand jedes Tages, wie er gelegentlich abgelesen war, angeben, so blieben sie für diesen Zweck ganz unbrauchbar. Erst im Jahre 1845 wurde die Vorschrift erlassen, daß der Wasserstand jedesmal Mittags um 12 Uhr beobachtet und in die Tabelle eingetragen werden solle. Seit dieser Zeit geben die Tabellen also einen sichern Anhalt zur Entscheidung der vorliegenden Frage.

Indem der Mond von einem Tage zum andern seine Stellung zur Sonne ändert, so müssen die täglich am Mittage gemachten Beobachtungen den Einfluß dieser verschiedenen Stellungen nachweisen und etwa in vierzehn Tagen eine volle Periode umfassen, aus der sich die Zeit des Hoch- und Niedrigwassers entnehmen läßt. In dieser Weise war auch bereits durch das Großherzoglich Mecklenburgische Statistische Bureau das Vorhandensein der Fluth und Ebbe im Hafen von Wismar nachgewiesen.*)

Die Resultate dieser Vergleichung der täglichen Wasserstands-Beobachtungen der Preussischen Häfen und zwar für den Zeitraum von 1846 bis 1856 sind in den Abhandlungen der mathematischen Klasse der Königl. Academie der Wissenschaften

*) Ueber die Wahrnehmbarkeit von Ebbe und Fluth in der Ostsee. Archiv für Landeskunde. Schwerin 1856.

für 1851 veröffentlicht, und sie ergeben für einige Häfen und Lootsen-Stationen unzweifelhaft das Vorhandensein der Fluth und deren Fortschreiten von Westen nach Osten. Die Mehrzahl dieser Tabellen führten dagegen zu keinem Resultate. Gerade diese waren es aber, welche schon bei flüchtiger Durchsicht den Verdacht erweckten, daß auf ihre Zusammenstellung wenig Sorgfalt verwendet sei. Der Lootse beobachtet den Wasserstand so genau, als es für die Zwecke der Schifffahrt nöthig ist, und auf einzelne Zolle legt er wenig Gewicht. Diese Tabellen enthielten daher größtentheils nur Angaben in Viertel Fussen und vielfach war derselbe Wasserstand mehrere Wochen und selbst Monate hindurch eingeschrieben. Andere Tabellen, die augenscheinlich mit mehr Sorgfalt aufgestellt waren, ergaben das auffallende Resultat, daß mehrere Jahre hindurch mit großer Sicherheit eine gewisse Hafenzeit sich herausstellte, die plötzlich um einige Stunden sich veränderte und eben so regelmäßig sich dauernd wiederholte. Der Grund hiervon ist wohl ohne Zweifel darin zu suchen, daß die Pegel bei etwaigem Personenwechsel in einer andern Stunde abgelesen wurden. Die erwähnte Vorschrift in Betreff der Beobachtungszeit wird selten in aller Strenge beachtet. Der Dienst bringt es mit sich, daß der Wasserstand schon am frühen Morgen abgelesen werden muß, und wenn er sich nicht sehr stark ändert, so wird diese Ablesung auch in die Tabelle eingetragen. Es ergibt sich aber einfach, daß die berechnete Hafenzeit um eben soviel Stunden von der richtigen abweicht, als die Ablesungen zu früh oder zu spät gemacht sind.

Unter diesen Umständen konnten nur die Resultate für diejenigen Beobachtungsorte als sicher angesehen werden, woselbst die einzelnen Jahrgänge ungefähr zu denselben Hafenzeiten führten. Dieses war der Fall:

1. auf der Pegel-Station Barhöft. Dieselbe liegt 2 Meilen nördlich von Stralsund auf der Ecke, die das Stralsunder Fahrwasser von dem Barther trennt. Die Hafenzeit daselbst fand ich 7 Uhr 27 Minuten und den mittleren Fluthwechsel 1,5 Zoll.

2. Die Lootsen-Station bei Wittower Posthaus, etwa 2 Meilen nordwestlich von der ersten, auf der südlichen Spitze der langen Halbinsel, die sich von Wittow ab an das Stralsunder Fahrwasser hinzieht. Hafenzeit 7 Uhr 37 Min., Fluthwechsel 1,3 Zoll.

3. Glowe, am nordwestlichen Ende von Jasmund auf Rügen,

best nur während einiger Monate Beobachtungen angestellt war. Hafenzeit 7 Uhr 39 Minuten. Fluthwechsel 1,4 Zoll.

4. Für den Hafen Stolpmünde ergaben die dreijährigen Beobachtungen 1846 bis 1849 sehr übereinstimmend die Hafenzeit 11 Uhr 15 Minuten und den mittleren Fluthwechsel 1,0 Zoll. Aus den folgenden Jahrgängen konnten keine übereinstimmende Resultate gewonnen werden.

Die Methode, nach welcher diese Rechnungen geführt sind, will ich kurz angeben, da vielleicht auch anderweitig davon Gebrauch gemacht werden kann, um schwache Spuren von Fluth und Ebbe sicher zu erkennen.

Zuerst wurden die Tage des Voll- und Neumondes, so wie des ersten und letzten Viertels bezeichnet. Jedes Zeitintervall zwischen zwei Mondphasen wurde alsdann in sieben gleiche Theile getheilt und für jeden der sechs zwischen liegenden Theile durch Interpolation der entsprechende Wasserstand ermittelt, wenn nicht gerade der Voll- oder Neumond um sieben Tage von dem Viertel entfernt war. Demnach trug ich diese Wasserstände in eine Tabelle ein, die vierzehn Spalten enthielt. In die erste Spalte wurde der Wasserstand am Tage des Vollmondes oder des Neumondes, in die achte der am Tage des ersten und letzten Viertels und in die übrigen die der dazwischen liegenden Tage, unverändert oder eventuell nach der erwähnten Interpolation, eingeschrieben.

Die für jeden Jahrgang aus den einzelnen Spalten gezogenen Summen wurden demnächst als Ordinaten der Curve, die wie oben gezeigt worden, eine Sinuslinie ist, behandelt, und es kam darauf, die Zeit, oder die Abscisse des obern Scheitelpunktes und die Differenz der Ordinaten der obern und untern Scheitel zu bestimmen. Hierbei mußte aber augenscheinlich diejenige Sinuslinie ermittelt werden, welche sich den 14 gegebenen Ordinaten am vortheilhaftesten anschliesst. Die Achse dieser Sinuslinie liefs sich leicht finden, da eine einfache Betrachtung ergab, daß der wahrscheinlichste Werth ihrer Höhe durch das arithmetische Mittel aus allen Ordinaten gegeben ist. Hiernach konnten die Ordinaten leicht auf diese Achse reducirt werden.

Wird nun der obere Scheitel der Sinuslinie als Anfangspunkt der Abscissen angesehen, so ist die Gleichung der Curve

$$y = b \cdot \cos x$$

b bezeichnet hier den Abstand des obern und untern Scheitels der Curve von der Achse, also die Hälfte des gesuchten mittleren Fluthwechsels. y ist die Ordinate, welche für jeden Theilpunkt aus der erwähnten tabellarischen Zusammenstellung der Beobachtungen zu entnehmen ist, und endlich ist x die zugehörige Abscisse, deren Anfangspunkt jedoch durch das Loth gegeben wird, welches von dem gesuchten obern Scheitel auf die Achse fällt. Die ganze Länge der Achse für die volle Sinuslinie ist gleich 2π , und indem sie in 14 Theile getheilt wird, so mißt jeder derselben $25^\circ 42', 87$. Diese Einheit, welche ich c nenne, ist den 14 Ordinaten entsprechend mit 0, 1, 2, 3 u. s. w. bis mit 13 (im Allgemeinen mit n) zu multipliciren, um die Abscissen darzustellen, welche von dem Voll- und Neumonde ab gezählt werden. Setze ich endlich die noch unbekannte Abscisse des obern Scheitels der Sinuslinie und zwar unter Beibehaltung desselben Anfangspunktes und gleichfalls in Graden und Minuten ausgedrückt gleich u , so wird

$$x = nc - u$$

und

$$y = \cos nc \cdot b \cos u + \sin nc \cdot b \sin u$$

Indem die 14 Zahlenwerthe, welche die Tabelle für y ergiebt, und außerdem die Sinus und Cosinus der bekannten Winkel nc eingeführt werden, so erhält man 14 Gleichungen, in welchen zwei Unbekannte, nämlich $b \sin u$ und $b \cos u$ vorkommen. Es handelt sich also darum, die wahrscheinlichsten Werthe der letzteren zu finden, und hierbei tritt die wesentliche Erleichterung ein, daß die Summen der Producte oder der Quadrate der trigonometrischen Functionen der Winkel nc , welche sich gleichmäßig über den ganzen Kreis vertheilen, entweder gleich Null oder gleich 7 werden. Wenn man nämlich durch das Zeichen Σ diese Summen ausdrückt, so ist für die obigen Winkel

$$\Sigma (\sin nc \cdot \cos nc) = 0$$

$$\Sigma (\sin nc \cdot \sin nc) = 7$$

$$\Sigma (\cos nc \cdot \cos nc) = 7$$

Führt man diese Werthe in die Ausdrücke ein, welche nach der Methode der kleinsten Quadrate für die beiden Unbekannten sich ergeben, so fällt im Zähler und Nenner jedesmal ein Glied fort, und außerdem hebt sich der Nenner gegen einen Factor des Zählers, auf so daß man die sehr einfachen Formeln erhält

$$b \sin u = \frac{1}{2} \sum (y \sin nc)$$

$$b \cos u = \frac{1}{2} \sum (y \cos nc)$$

$$\operatorname{tg} u = \frac{\sum (y \sin nc)}{\sum (y \cos nc)}$$

seiner Natur nach immer positiv, die Zeichen der Werthe von $b \sin u$ und $b \cos u$ lassen daher leicht erkennen, in welchen Quadranten der Winkel u fällt.

u ist in dem so gefundenen Resultate als Winkel, also in Grad und Minuten ausgedrückt, und es kommt darauf an, hieraus die Anzahl von Stunden zu finden, die zwischen der Zeit des Hochwassers und der Culmination des Mondes liegen. Indem die Länge der Achse der vollen Sinuslinie, die hier in 14 gleiche Theile getheilt war, die halbe Umlaufszeit des Mondes um die Erde bezeichnet, und während derselben der Eintritt des Hochwassers nach und nach genau um 12 Stunden sich verspätet, so entspricht jeder einzelnen Theil einer Verspätung von $\frac{12}{14}$ Stunden. Da aber diese Länge der Achse einen vollen Kreis darstellt, so mißt jeder Theil derselben $\frac{360}{14}$ Grade. Hieraus ergibt sich die gesuchte Hafenzeit in Stunden gleich

$$12 - \frac{12}{14} \cdot \frac{14}{360} \cdot u = 12 - \frac{1}{30} \cdot u$$

Es bedarf kaum der Erwähnung, daß die Minuten in dem Werthe des Winkels u vor der Einführung desselben in vorstehende Formel in Theile des Grades verwandelt werden müssen.

Ueber die Ausführung der Rechnung und über die daraus hergeleiteten Resultate ist noch Einiges zu erwähnen. Der Rechnung liegt die Voraussetzung zum Grunde, daß die Achse der Sinuslinie horizontal ist, d. h. daß während einer Beobachtungsperiode das Wasser unabhängig von Fluth und Ebbe weder steigt noch fällt. Dieses ist nur selten der Fall, um aber durch gar zu abweichende Wasserstände das Resultat nicht zu entstellen, so schloß ich alle diejenigen Reihen aus, in welchen die erste Beobachtung von der letzten um mehr als 3 Zoll abwich, so wie auch alle diejenigen, in welchen von einem Tage zum andern das Wasser um mehr als 3 Zoll gestiegen oder gefallen war. Hierzu kommt noch, daß alle Messungen ausgeschlossen werden mußten, wo der Wasserstand

wegen besonders hohen Seeganges oder wegen des Eises nicht sicher beobachtet werden konnte. Hiernach reducirte sich die Anzahl der Beobachtungsreihen für den Jahrgang auf 7 bis 10. Dieses ließ sich nicht vermeiden, da augenscheinlich einzelne Reihen, die besonders starke Aenderungen angaben, einen überwiegenden Einfluß auf das Resultat gehabt haben würden. Mit Rücksicht hierauf und auf die oben angegebene Unsicherheit in Betreff der Beobachtungszeit kann es nicht befremden, daß selbst die eilfjährigen Messungen für die meisten Häfen noch zu keinem Resultate führten.

Die GröÙe b oder der mittlere halbe Fluthwechsel drückt keineswegs das arithmetische Mittel dieser GröÙen aus, wie solche sich aus den einzelnen Beobachtungsreihen herausstellen würde, sondern bleibt immer unter demselben. Der Grund davon ist leicht einzusehn. Die einzelnen Reihen stellen nämlich keineswegs übereinstimmende Sinuslinien dar, vielmehr liegt der obere Scheitel der einen an ganz andrer Stelle, als der der andern. Außerdem hebt oder senkt eine dauernde Veränderung des Wasserstandes auch die beiden Enden der meisten dieser Curven. Die gesuchte mittlere Curve, welche sich allen einzelnen am besten anschließen soll, ist daher viel flacher gekrümmt, als die einzelnen es sind, oder b wird bedeutend kleiner gefunden, als das Mittel aus den halben Fluthwechseln in den einzelnen Beobachtungsreihen.

Es darf kaum erwähnt werden, daß diese Beobachtungen den Unterschied zwischen Springfluthen und todten Fluthen gar nicht erkennen lassen, weil jede Reihe in gleicher Weise alle verschiedenen Fluthen umfaßt und sich aus ihnen zusammensetzt. An den Tagen des Voll- und Neumondes giebt sie, wenn um 12 Uhr Mittags die Wasserstände gemessen werden, das Hochwasser, an den Tagen des ersten und letzten Viertels das Niedrigwasser an. Die gefundene Curve zieht sich also durch das Hochwasser der Springfluthen und das Niedrigwasser der todten Fluthen, woher sie auch den mittleren Wasserstand der See nicht erkennen läßt.

Indem hierzu noch kommt, daß in den langen Perioden von 14 Tagen nur selten die Witterung beständig bleibt, und überdies etwas Unnatürliches darin liegt, eine Untersuchung über Fluth und Ebbe anzustellen, ohne sich zu überzeugen, ob der Wasserstand im Laufe eines Tages wirklich zweimal sich hebt und zweimal sich

Wetter, so schien es dringend nothwendig, die Beobachtungen bei wechselnder Witterung von Stunde zu Stunde wiederholen zu lassen.

Dieses ist in den Jahren 1857 und 1858 in den sämtlichen preussischen Häfen und auf den kleineren Lootsen-Stationen geschehn, und wenn auch auf einigen der letzteren die Anzahl der Beobachtungen, die eine volle Fluthperiode umfassen, zu geringe blieb, so daß man ein sicheres Resultat daraus hätte herleiten können, so zeigten dennoch diese Beobachtungen das regelmäßige Fortschreiten der Fluthwelle in der Ostsee viel überzeugender dar, als jene täglichen Beobachtungen. Außerdem boten sie Gelegenheit, auch das Verhalten der Springfluthen und der todten Fluthen, so wie manche Eigentümlichkeiten der Ostsee-Fluthen zu erkennen. In dieser Beziehung waren besonders wichtig die in Travemünde, dem Hafen von Lübeck, angestellten Beobachtungen, die nahe drei Jahrgänge umfaßten und an jedem Tage von Morgen bis Abend stündlich gemacht sind. Sie ließen die Einzelheiten der Erscheinung viel deutlicher wahrnehmen, als die Messungen an der Preussischen Küste, sofern die Fluthwelle bei Travemünde eine bedeutend größere Höhe hat, als weiter östlich.

Es gab sich indessen bald zu erkennen, daß namentlich bei haltend warmer Witterung außer den von der Fluth herrührenden Schwankungen des Wasserstandes, derselbe noch von den regelmäßig umsetzenden Land- und Seewinden abhängt. Oft bemerkt man, daß drei und mehr Tage hintereinander in den Sommermonaten das Wasser während des Tages mehrere Zolle fällt, und während der Nacht wieder um eben so viel steigt. Beispielsweise stand am 1. Juli 1858 zwischen 7 und 9 Uhr Morgens bei frischem Südost-Winde das Wasser bei Memel auf 2 Fuß 1 Zoll. Indem der Wind hierauf nachließ und gegen Abend nach Osten umging, so sank das Wasser bis 8 Uhr Abends bis auf 1 Fuß 6 Zoll herab. An den folgenden Tagen wiederholte sich sehr genau dieselbe Veränderung des Windes. Vom frühen Morgen bis einige Stunden nach Mittag war der Wind westlich und so stark, daß er zeitweise als Westwind bezeichnet ist. Abends wurde er dagegen sehr schwach, und ging nach Osten über. Am 2. Juli stand das Wasser zwischen 10 und 11 Uhr Morgens auf 1 Fuß 10 Zoll, und fiel bis 8 Uhr Abends

auf 1 Fuß 7 Zoll. Am 3. Juli stand es von 5 bis 9 Uhr Morgens auf 1 Fuß 10 $\frac{1}{2}$ Zoll, während es um 5 Uhr Abends auf 1 Fuß 6 $\frac{1}{2}$ Zoll herabsank.

Wenn man diese und alle ähnlichen Beobachtungen nach Fluthperioden zusammenstellt, so sind die beiden Reihen, die demselben Tage gehören, wesentlich von einander verschieden. Daher während der Nacht keine Messungen angestellt sind, so ist die Ausgleichung der sehr großen von Fluth und Ebbe unabhängigen Schwankungen, und man müßte aus den nur während des Tages angestellten Beobachtungen den regelmäßig wiederkehrenden starken Wechsel des Wasserstandes als Wirkung der Fluth und Ebbe in Rechnung stellen, was er doch nicht ist. Es leuchtet daher, daß man in diesem Falle, namentlich bei einer beschränkten Anzahl von Beobachtungsreihen leicht zu einem sehr unrichtigen Resultat gelangen würde.

Es rechtfertigt sich hiernach, daß, soweit es geschehn konnte, auch während der Nacht die Beobachtungen fortgesetzt sind. In den bedeutendsten Häfen bot dieses keine Schwierigkeit, weil die Lootsenwache fortwährend besetzt bleibt, in den kleineren Häfen und auf den isolirten Lootsen-Stationen konnte es dagegen nur ausnahmsweise geschehn und mußte zum Theil ganz unterbleiben.

Die Anstellung der stündlichen Beobachtungen wurde wesentlich dadurch erleichtert, daß die Lootsen-Commandeure vielfach eine auffallende Theilnahme dafür zeigten, und mit lebhaftem Interesse die schwachen Spuren von Fluth und Ebbe in ihren Häfen verfolgten. Namentlich in Swinemünde und Memel sind diese Beobachtungen nur bei stark bewegter See und beim Froste unterbrochen: sonst setzten sie sich regelmäßig Wochen und selbst Monate hindurch von Stunde zu Stunde fort. Von denselben konnten freilich sehr viele nicht benutzt werden, denn zunächst fielen diejenigen von selbst aus, die keine volle Fluthperiode umfaßten. In dieser Beziehung gestattete ich mir, und namentlich für solche Stationen, wo nur wenige Messungen angestellt waren, die Ausnahme, daß wenn die erste oder die letzte Beobachtung in einer Periode fehlte, ich diese aus den beiden nächstliegenden interpolirte. Demnächst sind aber auch alle diejenigen Reihen ausgeschlossen, in welchen die Differenz zwischen der ersten und letzten Beobachtung mehr als 4 $\frac{1}{2}$ Zoll beträgt. Es blieben nach dieser Ausscheidung im Ganzen noch

100 Beobachtungsreihen übrig, welche den Rechnungen zumgelegt werden konnten.

Die Rechnungen stimmten wesentlich mit den für die täglichen Beobachtungen ausgeführten überein. Um jedoch möglichst Resultate zu erhalten, suchte ich theils aus den einzelnen Beobachtungsreihen, und theils aus den Zusammenstellungen derselben den Einfluß zu beseitigen, welchen das von Fluth und Ebbe abhängige Steigen oder Fallen des Wassers auf das Resultat ausübt, nämlich die Wasserstände jeder Fluthperiode wieder in Coordinaten einer Sinuslinie sind, deren Achse aber, wenn das Wasser im Allgemeinen steigt oder fällt, nicht horizontal ist, so daß, nachdem die Ordinaten gezeichnet und der Durchschnittswert der mittleren Ordinate mit der Achse bestimmt war, letztere als die Curve sich anscheinend am vortheilhaftesten einer Sinuslinie anschloß. Man könnte freilich die Neigung der Achse als dritte Unbekannte einführen und ihren wahrscheinlichsten Werth methodisch bestimmen. Die Rechnung erschwerte sich aber in so hohem Grade, daß ich bei der mehr als hundertfachen Wiederholung derselben mich hierzu nicht entschloß.

Am leichtesten bezeichnete ich in den Wasserstands-Beobachtungen die Zeit der obersten oder untern Culmination des Mondes, d. h. die Zeit, welche der im Berliner astronomischen Jahrbuche angegebene Culminations-Zeit am nächsten liegt. Diese Bestimmung ist durchaus genügend, da die aus dem Längen-Unterschied zwischen Berlin herrührende Differenz im Stande des Mondes die Sonne im äußersten Falle nur eine halbe Zeitminute betragen kann.

Um nun trug ich die Beobachtungen in eine Tabelle ein, die ich in 7 Spalten hatte. In die erste wurde der Wasserstand 6 Stunden vor der Culmination, in die zweite 5 Stunden vor und so fort bis 6 Stunden nach der Culmination eingetragen. Hierbei erlaubte ich mir, wenn am Anfange oder am Ende einige Beobachtungen fehlten, diejenige, die 7 Stunden nach der Culmination gemacht war, in die erste Spalte einzutragen oder umgekehrt. Namentlich sah ich mich zu oft gezwungen, wenn die Messungen während der Nacht gemacht werden konnten, die Beobachtungen in die letzte Spalte einzutragen.

In den Zahlen in jeder Spalte wurden nunmehr die arithmetischen Mittel berechnet.

tischen Mittel genommen, und dieses waren die Ordinaten der zu bestimmenden Sinuslinie. Die Zwischenzeit von einer Culmination des Mondes bis zur nächsten beträgt durchschnittlich $12^{\text{h}} 25' 14'',2$ oder 12,4206 Stunden. Die beiden äußern Ordinaten gehören daher zusammen zu 1,4206 Stunden, während jede andere 1 Stunde darstellt. Um demnach die Höhe der Achse der Sinuslinie zu finden, muß die Summe der beiden äußern mit 0,7103 multiplicirt, und nachdem dieses Product zu den Werthen der übrigen addirt ist, die ganze Summe durch 12,4206 dividirt oder mit 0,0805 multiplicirt werden. Dieser Werth stellt aber auch, wenn eine Neigung der Achse angenommen wird, die Höhe des Durchschnittspunktes der Achse mit der Ordinate dar, welche in die Stunde der Culmination des Mondes fällt.

Nachdem die Ordinaten auf die Achse reducirt sind, haben sie theils das positive und theils das negative Zeichen: ich nenne dieselben y . x bezeichne wieder die zugehörigen Abscissen, die vom obern Scheitelpunkte, also von der Zeit des Hochwassers ab gemessen werden, und b ist der Abstand des obern und untern Scheitels von der Achse. Alsdann ist

$$y = b \cos x$$

Wenn man nun, übereinstimmend mit den Beobachtungen, die Abscissen von der Stunde der Culmination des Mondes, oder von der mittleren Ordinate ab zählt, so ist

$$x = u + nc$$

u ist die Abscisse, die zum obern Scheitel der Sinuslinie gehört, und von der angenommen wird, daß sie negativ ist, oder daß das Hochwasser vor der Culmination des Mondes eintritt. n ist die Anzahl der Stunden, um welche die Beobachtung vor oder nach der Culmination gemacht ist, und c die Abscisse, welche einer Stunde entspricht.

$$c = \frac{2\pi}{12,4206} = 28^{\circ} 59' 2'',8$$

Indem man für n die ganzen Zahlen von -6 bis $+6$ schreibt, so erhält man die dreizehn Winkel, deren Functionen bei jeder einzelnen Rechnung den Zahlen in den 13 Spalten entsprechend sich wiederholen.

$$\begin{aligned} y &= b \cos(u + nc) \\ &= \cos nc \cdot b \cos u - \sin nc \cdot b \sin u \end{aligned}$$

Bekannt sind in diesem Ausdrucke y , $\cos nc$ und $\sin nc$. Die beiden Unbekannten $b \cos u$ und $b \sin u$ findet man nach der Methode der kleinsten Quadrate:

$$b \sin u = - \frac{\sum (y \sin nc)}{\sum (\sin nc \cdot \sin nc)}$$

und

$$b \cos u = \frac{\sum (y \cos nc)}{\sum (\cos nc \cdot \cos nc)}$$

Aus den vorstehend angegebenen Winkeln findet man aber

$$\log \sum (\sin nc \cdot \sin nc) = 0,79252$$

und

$$\log \sum (\cos nc \cdot \cos nc) = 0,83233$$

Die Rechnung wird hiernach überaus leicht. Man schlägt ein für allemal die Logarithmen von $\sin nc$ und $\cos nc$ auf, schreibt die dreizehn Werthe derselben auf ein Blättchen, das sich den Spalten der Tabelle anschliesst, und summirt sie zu den Logarithmen von y . Die Rechnung darf nicht genauer, als mit drei Decimalstellen gemacht werden. Zieht man nun $\log b \cos u$ von $\log b \sin u$ ab, so erhält man die Tangente von u in Graden und Minuten, es ist aber vortheilhaft, u nur in Graden und Decimaltheilen derselben auszudrücken. Da b jederzeit negativ ist, so ergibt sich aus den Zeichen der trigonometrischen Functionen leicht, in welchen Quadrant u fällt. Der Werth von b läßt sich, indem man $\sin u$ und $\cos u$ abzieht, aus beiden Ausdrücken finden.

Indem nun die Länge der ganzen Achse gleich

$$360^\circ = 12,4206 \text{ Stunden}$$

ist, so darf man die gefundene Anzahl von Graden nur mit 0,0345 multipliciren, um u in Stunden auszudrücken. Ist u positiv, so tritt das Hochwasser vor der Culmination des Mondes ein, bei negativem u dagegen nach derselben. Im letzten Falle bezeichnet u unmittelbar die Hafenzeit, indem am Tage des Voll- und Neumondes die Sonne und der Mond nahe zu gleicher Zeit culminiren, im ersten Falle muß man dagegen die gefundene Stundenzahl von 12

abzieh. Im Folgenden ist jedesmal die Zeit desjenigen Hochwassers berechnet, welches der Culmination des Mondes am nächsten liegt, oder für welches u kleiner als 180 Grade ist.

Indem ich in dieser Weise die Beobachtungen berechnete, so überzeugte ich mich bald, daß die Hafenzeiten für denselben Ort sehr verschieden ausfielen, je nachdem die zum Grunde gelegten Beobachtungsreihen mehr oder weniger Springfluthen oder todte Fluthen umfaßten. In dieser Beziehung mußte also jedenfalls eine Sonderung eingeführt werden. Nichts desto weniger blieben noch immer, und zwar nicht nur in der Bestimmung von b , sondern auch in der von u sehr bedeutende Differenzen. Eine fernere Trennung der Beobachtungsreihen nach den Monaten führte keine größere Uebereinstimmung herbei, es ergab sich also, daß die Fluthwelle im Sommer, oder im wärmeren Wasser, eben so schnell, wie im Winter fortschreitet. Dagegen zeigte es sich deutlich, daß die Richtung und Stärke des Windes einen wesentlichen Einfluß auf die Zeit des Hochwassers ausübt. Westliche Winde beschleunigen die Fluthwelle in der Ostsee, während östliche sie verzögern. Namentlich in den vom Sunde und den Belten weit entfernten Häfen ist die Einwirkung des Windes sehr groß. So traten bei anhaltendem Westwinde die Springfluthen zwischen dem 26. und 29. Juni 1858 in Memel um zwei Stunden früher ein, als sonst geschieht, und viele Beobachtungsreihen sind vollständig umgekehrt, indem das Hochwasser in eine Zeit fällt, wo die übrigen Beobachtungen Niedrigwasser ergeben. Man darf deshalb nicht hoffen, aus wenigen Beobachtungsreihen die Zeit des Hochwassers sicher zu bestimmen. Es muß aber wieder darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Abweichung der einzelnen Beobachtungsreihen in dieser Beziehung auch einen wesentlichen Einfluß auf den Werth von b , oder auf die Größe des halben Fluthwechsels hat. b wird nämlich immer um so kleiner, je weniger die Zeiten des Hochwassers mit einander übereinstimmen. Nach einzelnen Reihen ist der Fluthwechsel oft doppelt so groß, als er sich für diejenige Sinuslinie herausstellt, welche der Summe mehrerer Reihen am besten entspricht.

Die Unbekannte u in Stunden ausgedrückt, kann man nicht mehr Hafenzeit nennen, sobald sie für Springfluthen und andere Fluthen verschiedene Werthe annimmt, wie an den Ostseeküsten un-

zweifelhaft der Fall ist. Sie bezeichnet den Zeit-Unterschied zwischen der Culmination des Mondes und dem Eintritt des Hochwassers. Ich nenne sie in der folgenden Zusammenstellung T , und zwar bedeutet das davor stehende positive Zeichen, daß das Hochwasser nach der Culmination, das negative aber, daß dasselbe vor der Culmination erfolgte. Um eine Vergleichung der verschiedenen Werthe von T unabhängig von der aus dem Längen-Unterschiede der Beobachtungsorte entspringenden Zeit-Differenz anstellen zu können, ist noch die Reduction auf Berliner Zeit beigelegt. T' bezeichnet nämlich die Stundenzahl, um welche das Hochwasser nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian der Berliner Sternwarte eintritt.

Die nachstehenden Beobachtungsorte sind größtentheils die bekannten Seehäfen. Die Lage der Station Glowe auf Rügen ist schon oben bezeichnet. Thiessow ist die Lootsen-Station auf der südöstlichen Spitze der Halbinsel Mönchgut auf Rügen, und West-Dievenow endlich die Lootsen-Station am Ausfluß der Dievenow ohnfern Cammin.

Die Classification der Fluthen ist in der Art geschehn, daß die sieben Fluthen, welche dem Voll- und Neumonde zunächst folgen, Springfluthen, die sieben ersten Fluthen nach dem ersten und letzten Viertel todte Fluthen und alle übrige mittlere Fluthen genannt sind.

Beobachtungsort	Anzahl der Beob.Reih.	T	T'	b
I. Springfluthen.				
Travemünde	134	— 6,32	— 6,15	2,19 Zoll
Glowe	5	— 3,72	— 3,72	0,40 -
Thiessow	5	— 2,08	— 2,08	1,25 -
Swinemünde	122	— 1,60	— 1,66	0,56 -
West-Dievenow	5	— 0,96	— 1,05	1,02 -
Colbergermünde	19	— 0,06	— 0,21	0,40 -
Rügenwaldermünde	16	+ 0,01	— 0,19	0,47 -
Neufahrwasser	5	+ 2,66	+ 2,31	0,37 -
Pillau	9	— 0,58	— 1,02	0,32 -
Memel	96	+ 0,82	+ 0,31	0,24 -

Beobachtungsort.	Anzahl der Beob.Reih.	T	T'	δ
II. Mittlere Fluthen.				
Travemünde	277	— 5,73	— 5,56	1,88 Zoll
Glowe	18	— 4,13	— 4,13	0,24 -
Thiessow	3	— 3,02	— 3,02	0,74 -
Swinemünde	134	— 0,91	— 0,97	0,22 -
West-Dievenow	21	— 0,40	— 0,49	0,43 -
Colbergermünde	55	+ 0,24	+ 0,10	0,42 -
Rügenwaldermünde	82	+ 0,14	— 0,06	0,24 -
Neufahrwasser	29	+ 2,41	+ 2,06	0,23 -
Pillau	31	— 0,46	— 0,89	0,21 -
Memel	155	+ 1,67	+ 1,15	0,16 -
III. Todte Fluthen.				
Travemünde	133	— 5,32	— 5,15	1,85 Zoll
Thiessow	3	— 1,26	— 1,26	0,42 -
Swinemünde	72	— 0,66	— 0,69	0,48 -
West-Dievenow	6	+ 1,66	+ 1,57	0,26 -
Colbergermünde	11	+ 2,48	+ 2,34	0,55 -
Rügenwaldermünde	9	+ 1,93	+ 1,73	0,28 -
Stolpmünde	4	+ 3,82	+ 3,59	0,16 -
Neufahrwasser	7	+ 3,98	+ 3,62	0,29 -
Pillau	15	+ 2,58	+ 2,15	0,26 -
Memel	81	+ 4,72	+ 4,21	0,12 -

Wenn in dieser Zusammenstellung sich auch vielfache Unregelmäßigkeiten und zwar eben so wohl in den Werthen von T , wie von δ ergeben, so zeigt sich dennoch im Allgemeinen ganz unverkennbar, daß die Fluthwelle von Westen nach Osten die Ostsee durchläuft und während ihres Laufes nach und nach an Höhe verliert. Die erheblichste Anomalie giebt sich bei Neufahrwasser zu erkennen, woselbst das Hochwasser später als in Pillau und mit Ausschuß der todten Fluthen selbst später als in Memel eintritt. Der Grund hiervon ist wohl allein in der starken Krümmung des Weges zu suchen, den die Fluthwelle machen muß, um die Halbinsel Hela zu umkreisen und nach Neufahrwasser zu gelangen. In ähnlicher Weise kommt auch die Fluthwelle, indem sie durch den

Großen Belt in die Ostsee tritt, etwa eine Stunde früher nach Wismar, als nach Travemünde.

Setzt man voraus, daß jede Fluthwelle im offenen Meere, und so lange sie dieselbe Richtung verfolgt, sich mit constanter Geschwindigkeit bewegt, so müßten die Zeiten des Hochwassers den Längen der Wege entsprechen. Ich versuche hiernach, aus den beobachteten Zeiten deren wahrscheinlichste Werthe, und zugleich die Geschwindigkeiten der verschiedenen Fluthwellen zu berechnen. Indem alle Wellen, welche die Preussischen Beobachtungs-Stationen treffen, zwischen Rügen und der Schwedischen Küste hindurchgehn müssen, so habe ich die Länge der verschiedenen Wege von dem Meridiane von Arcona ab gemessen. Neufahrwasser mußte hierbei aus dem bereits angegebenen Grunde ganz unberücksichtigt bleiben. Bei der überwiegend großen Anzahl von Beobachtungen, die in Swinemünde und Memel angestellt sind, mußte aber den für diese Orte gefundenen Zeiten ein viel größeres Gewicht, als den übrigen, beigelegt werden. Ich gab ihnen das dreifache Gewicht.

Hieraus ergeben sich folgende Geschwindigkeiten der Fluthwellen:

1) bei Springfluthen 28,3 Deutsche Meilen in der Stunde mit dem wahrscheinlichen Fehler von 4,9 Meilen,

2) bei mittleren Fluthen 21,7 Meilen mit dem wahrscheinlichen Fehler von 5,6 Meilen und

3) bei todten Fluthen 14,1 Meilen mit dem wahrscheinlichen Fehler von 7,2 Meilen.

Die Unsicherheit der Bestimmung wird sonach um so größer, je schwächer die Welle ist. Dieses ist auch sehr erklärlich, weil die Winde alsdann einen viel stärkeren Einfluß darauf ausüben.

Unter Voraussetzung dieser Geschwindigkeiten ließen sich auch die wahrscheinlichsten Werthe für T berechnen: die nachstehende Tabelle giebt an, um wieviel Stunden und Minuten das Hochwasser früher oder später eintritt, als der Mond durch den Meridian des betreffenden Ortes geht.

	bei Springfluthen.	bei mittl. Fluthen.	bei todten Fluthen.
Thiessow . . .	1 St. 53 Min. früher.	1 St. 48 Min. früher.	0 St. 12 Min. früher.
Swinemünde . .	1 - 35 - -	1 - 25 - -	0 - 20 - später.
West-Dievenow .	1 - 31 - -	1 - 20 - -	0 - 26 - -
Colbergermünde .	1 - 17 - -	1 - 4 - -	0 - 52 - -
Rügenwaldermünde	1 - 1 - -	0 - 43 - -	1 - 21 - -
Stolpmünde . .	0 - 51 - -	0 - 30 - -	1 - 40 - -
Pillau	0 - 13 - später.	0 - 56 - später.	3 - 46 - -
Memel	0 - 50 - -	1 - 37 - -	4 - 46 - -

Aus der Vergleichung mit den obigen Zeiten ergeben sich die wahrscheinlichen Fehler dieser Resultate:

für Springfluthen 32 Minuten,
für mittlere Fluthen 44 Minuten,
für todte Fluthen 49 Minuten.

Eine besondere Betrachtung verdient die Verschiedenheit der Zeiten, in welchen vergleichungsweise zur Culmination des Mondes die Springfluthen und die todten Fluthen eintreten. Im Atlantischen Ocean, so wie auch in der Nordsee findet ein Unterschied in der Geschwindigkeit der verschiedenen Fluthwellen nicht statt. Sie werden zwar durch starke Winde beschleunigt, oder zurückgehalten, doch sind diese Abweichungen ohne Vergleich viel geringer, als diejenigen, welche sich aus der obigen Zusammenstellung ergeben und für Memel sogar nahe 4 Stunden betragen.

Aus den Englischen und Französischen Fluth Tabellen, die nach vieljährigen Beobachtungen für eine große Anzahl Häfen zusammengestellt sind, ergiebt sich, daß die Welle der todten Fluth von einem dieser Häfen bis zum andern, so lange sie im offenen Meere bleibt, eben so schnell läuft, als die der Springfluth. Ich stellte namentlich die Vergleichung zwischen Brest und Sunderland an, zwischen der Weg, der sich um den Norden von Schottland herumzieht, über 300 Deutsche Meilen lang ist. Es ergab sich dabei aber gar keine Abweichung in der Differenz der Fluthzeiten bei verschiedenen Mondphasen. Die allgemein übliche Methode, die Zeit des Hochwassers für die Zwischenorte dadurch zu bestimmen, daß eine gewisse Anzahl von Minuten zu den Hafenzeiten der Hauptorte hinzugefügt oder davon abgezogen wird, würde auch unrichtige Resultate geben, wenn die Fluthwelle bald schneller und bald langsamer sich bewegen sollte. Die in der Ostsee eintretende Erschei-

ng ist daher eigenthümlich und läßt sich nur durch die überaus hohe Höhe der Fluthwelle erklären, deren Bewegung um so leicht verzögert wird, je weniger sie ausgebildet ist.

In den untern Stromtheilen, in welche noch hohe Fluthen eintreten, hat man indessen das langsamere Fortschreiten der Welle todten Fluth schon vielfach bemerkt. Scott Russel spricht von der Verzögerung als von einer bekannten Thatsache. Auch die Vergleichung der in Hamburg und Cuxhaven angestellten Beobachtungen ergibt, daß die Springfluth diesen 14 Meilen langen Weg durchschnittlich in 4 Stunden 32 Minuten zurücklegt, während die alte Fluth dazu 4 Stunden 58 Minuten gebraucht. Die Erscheinung ist zwar in sofern eine andre, als der entgegen tretende Ebbe, wenn in beiden Fällen aufgehoben und zurückgedrängt werden muß, da der höheren Welle der Springfluth leichter gelingt, als der todten Fluth. Nichts desto weniger ist eine gewisse Analogie doch nicht zu verkennen.

Die Beobachtungen von Travemünde, welche, wie bereits erwähnt, einen recht merklichen Fluthwechsel zeigen, boten noch die erwünschte Gelegenheit, zu untersuchen, welche Fluth die höchste ist, welche die eigentliche Springfluth ist. Durchschnittlich zeigte sich bei der vierten Fluth nach Voll- und Neumond die größte Differenz zwischen Hoch- und Niedrigwasser. Diese betrug meist 9 bis 10 Zoll. Man darf hieraus schließen, daß die Fluthwelle etwa 2 Stunden gebraucht, um den sehr unregelmäßigen und vielfach gekrümmten Weg durch das Cattegat und den Großen Belt zurückzulegen.

Schließlich ist in Betreff der Fluth und Ebbe in der Ostsee noch zu erwähnen, daß dadurch in ähnlicher Weise wie an den großen Meeren hin und wieder auch abwechselnde Strömungen veranlaßt werden. Sehr auffallend sind dieselben bei Travemünde, wo bei ruhiger Witterung der Strom während vier und zwanzig Stunden zweimal ein- und zweimal auszugehen pflegt. In den Preussischen Häfen stellt sich diese Erscheinung nirgend deutlich dar, obwohl die wechselnden Strömungen allerdings auch zum Theil durch die Fluth bedingt zu sein scheinen. Nur bei Thiessow, wo der Fluthwechsel besonders groß ist, geht nach den daselbst gemachten Beobachtungen zur Zeit der Springfluthen der Strom in den Greifswalder Bodden ein und aus, je nachdem Fluth oder Ebbe statt findet.

Es ergiebt sich hieraus, daß ohnerachtet der sehr beschränkten Maasse, welche die Erscheinung in der Ostsee annimmt, dennoch die Schifffahrt unter Umständen, und namentlich bei sehr ruhiger Witterung vielleicht einigen Nutzen davon ziehen könnte.

§. 8.

Fluth und Ebbe in den Strom-Mündungen.

In den Mündungen großer Ströme, durch welche bedeutende Wassermassen aus dem Binnenlande abgeführt werden, gestalten sich die Erscheinungen der Fluth oft so eigenthümlich, daß sie schon aus diesem Grunde nicht mit Stillschweigen übergangen werden dürfen. Sie gewinnen aber um so mehr Bedeutung, als sie auf die Schifffahrt überwiegenden Einfluß haben. Die meisten Seehäfen liegen an Strom-Mündungen, weil die aus- und eintretenden Wassermassen hier schon von selbst tiefere Rillen zu bilden pflegen, welche oft sogar natürliche Häfen sind. Außerdem muß jeder Seehafen, wenn er nicht etwa nur Nothhafen ist, mit dem Binnenlande durch bequeme Wasserstraßen in Verbindung stehn, und hierzu eignen sich vorzugsweise diese Ströme. Die Seehäfen befinden sich aber keineswegs immer nahe an der See, vielmehr ist es ein großer Gewinn, wenn die Seeschiffe noch weit aufwärts den Strom befahren und in bedeutender Entfernung Handelsplätze erreichen können, welchen auf diese Weise die Gelegenheit geboten wird, sich unmittelbar an dem Seehandel zu betheiligen.

Daß die Fluth und Ebbe den wesentlichsten Einfluß auf die Strömung in den untern Stromstrecken ausüben muß, ist an sich klar. Im Allgemeinen ist ihre Einwirkung auch höchst vorthellhaft, weil sie Veranlassung giebt, daß hier viel größere Tiefen sich ausbilden und dauernd erhalten, als in den Mündungen anderer Ströme von gleichem Entwässerungs-Gebiete, die sich aber in Meer ergießen, welche keinen merklichen Fluthwechsel zeigen. Im letzten Falle führt der Strom sehr gleichmäßig die Wassermasse ab, welche ihm aus dem Binnenlande durch Nebenflüsse und Bäche zugeführt wird, und wenn sein Profil in der Mündung sich stark erweitert, so ist die Strömung zu schwach, um dasselbe dauernd in gehöriger Tiefe offen zu erhalten, dasselbe wird vielmehr, wie v

Der Weichsel, der Rhone und andern sich selbst überlassenen Strömen wirklich geschehn ist, so stark mit Sand und sonstigen Niederschlägen angefüllt, daß nur Fischerböte daselbst noch hindurch fahren können.

Ganz anders verhält es sich dagegen, wenn eine kräftige Fluth periodisch dem Strome entgegen tritt. Sie unterbricht diesen nicht nur vollständig und verhindert daher in kurzen Zwischenzeiten den Abfluß des Binnenwassers, sondern sie ergießt sich sogar in das Strom-bette und füllt dieses mehrere Meilen weit aufwärts in entsprechender Höhe an. Wenn demnächst Ebbe eintritt, so muß während der beschränkten Dauer derselben nicht nur das gesammte Binnenwasser, das während einer Fluthperiode von oben her hinzugeflossen ist, abgeführt werden, sondern mit diesem vereinigt sich noch die ganze von der Fluthwelle hineingetriebene Masse, die oft viel größer ist als jene, und hierdurch entsteht eine viel stärkere Strömung, die weit kräftiger den Grund angreift und daher weit tiefere Rinnen erzeugt, als der Strom an sich bilden konnte. Die Wirkung verstärkt sich außerdem noch wesentlich durch das Gefälle, welches der Fluthwechsel im Meere veranlaßt. In dieser Beziehung giebt sich wieder ein sehr auffallender Unterschied zwischen den beiden Arten der Strom-Mündungen zu erkennen, insofern in den ersten das Gefälle beinahe ganz zu verschwinden pflegt, und die Geschwindigkeit deshalb überaus geringe bleibt.

Hierbei muß zugleich auf den Umstand aufmerksam gemacht werden, daß die Wassermenge, welche der Strom, der keinem Fluthwechsel unterworfen ist, dem Meere zuführt, allein durch die Ergiebigkeit der Quellen seines Gebietes bedingt wird, und daher in keiner Weise vergrößert werden kann. Der Zufluß von der See-seite, den die Fluthwelle veranlaßt, ist dagegen an sich unbegrenzt, und es kommt nur darauf an, daß recht weite Thäler oder Niederungen zur Seite des Stromes geöffnet bleiben, die sich bei jeder Fluth anfüllen und wieder entleeren, um große Wassermassen in Wirksamkeit treten zu lassen, die sowol bei der Fluth, als auch vorzugsweise bei der Ebbe den Schlauch durchströmen und dessen Tiefe erhalten. Hiermit hängt die Erfahrung zusammen, die man an manchen Häfen, namentlich an der Französischen Seite des Canales gemacht hat, daß dieselben im vorigen Jahrhundert hinreichend tief waren, um allen Schiffen einen bequemen Zugang zu

bieten, während sie später so flach wurden, daß nur noch zur Zeit des Hochwassers kleinere Schiffe einlaufen konnten. Die Ursache dieser ungünstigen Veränderung liegt aber, wie leicht zu erkennen war, in den Eindeichungen, die man im Binnenlande ausgeführt hat. In gleichem Maasse, wie die Flächen sich verminderten, welche bisher jedes Fluthwasser aufnahmen, verminderte sich auch die durch den Hafen ein- und ausströmende Wassermasse, und diese genügte bald nicht mehr, das frühere Profil offen zu erhalten.

Das Eintreten einer kräftigen Fluth in die Mündung und die unteren Strecken des Stromes gewährt der Schifffahrt noch einen andern wesentlichen Vortheil, der namentlich in früherer Zeit von grofser Bedeutung war, ehe die Dampfschifffahrt sich so allgemein, wie gegenwärtig ausgebildet hatte. Das Seeschiff kann nämlich eben so, wie das Flufsschiff, zwar einer mäfsigen Strömung entgegen gezogen werden, bei seiner grofsen Masse und seinem breiten und tiefen Profile erfordert es aber eine sehr starke Bespannung und ist dennoch nur langsam zu bewegen. Diese Art der Beförderung ist daher so zeitraubend und kostbar, daß man davon nur selten Gebrauch macht, und lieber einen günstigen Wind abwartet, bei dem es aufsegeln kann. Die Schwierigkeit verschwindet indessen in denjenigen Stromstrecken, welche einem starken Fluthwechsel unterworfen sind. Hier fliefst zweimal am Tage das Wasser aufwärts und zweimal abwärts. Man darf daher nur der Strömung folgen, die sich von selbst darstellt, sie führt das Schiff beinahe eben so schnell herauf, wie herab und die Segel dienen bei weniger günstigen, und selbst bei entgegenstehenden Winden; nur um das Schiff im Fahrwasser zu erhalten.

Diese abwechselnd in entgegengesetzter Richtung eintretende Strömung veranlafst vielfach auch sehr grofse Uebelstände. Die Ufer, die in solchem Falle meist aus aufgeschwemmtem Boden bestehen, werden durch sie in der verheerendsten Weise angegriffen, und ihre Sicherung ist um so schwieriger, als das salzige Wasser das Weidenstrauch nicht aufkommen läfst. Eine zweite Ursache der Verwilderung des Strombettes liegt noch darin, daß der Fluthstrom oft einen andern Schlauch verfolgt, als der Ebbestrom. Diese Schläuche ändern periodisch ihre Lage, und weite Ablagerungen entstehen immer von Neuem, die sich oft zu Inseln ausbilden, und diese werden demnächst wieder eben so, wie die Ufer selbst ange-

8. Fluth in Strom-Mündungen.

Diese Stromstrecken zeigen oft ein Bild der Verwilderung, wie in den weiter aufwärts belegenen Theilen desselben Stromes Gleichen hat. Untiefen im Fahrwasser, Spaltungen und scharfe Krümmungen verhindern hier oft den Schiffahrtsgang ganz, während die Kräfte, welche das Bette regelmäßig zu bilden könnten, von der Natur überreichlich geboten sind. So auch große Wassermassen das Bette durchströmen, also in der Mündungen, pflegt die Schiffahrt weniger zu leiden, aufwärts dagegen, wo der Fluthwechsel nur noch wenig ist, werden in einem sich selbst überlassenen Strome die Hindernisse oft unübersteiglich, und es zeigen sich hier so eben, wie solche weiterhin, wo die Fluth ganz aufgehört hat, kommen.

war bis vor 10 Jahren die Weser oberhalb Vegesack, an dem genannten Kalkbären, wo der Fluthwechsel schon sehr gering in dem weit verbreiteten Bette übermäßig verflacht, und der Gang der Dampfboote und Lichterfahrzeuge war hier überaus schwierig. Es kam sogar oft vor, daß selbst zur Zeit des Hochwasserfahrzeugs nicht darüber fortkommen konnten und mehrere Tage hier liegen oder gelichtet werden mußten. Indem die Verhältnisse in vielfacher Beziehung denen an der Clyde ähnlich waren, so wendete man dieselben Mittel der Strom-Correction, die man dort mit bestem Erfolge zur Anwendung gebracht hatte. *) Es kam nur zu dem Fluthstrome ein recht gerades, hinreichend weites und leicht anzuweisen, damit derselbe möglichst ungeschwächt sich aufwärts fortsetzen und eine größere Wassermasse herauftreiben konnte. In den beiden kleinen Nebenflüssen der Weser, nämlich in der Ems oder Wümme und der Ochtum, von denen der erstere etwas oberhalb, der andere aber oberhalb dieser Stelle eintreten, setzt die Fluth bis oberhalb Bremen fort, während in der Weser bei Bremen nur in den seltensten Fällen ein sehr geringer Fluthwechsel zu bemerken war. Der Grund, weshalb dort die Fluth auftrat, lag ohne Zweifel in der Reinheit des Wassers, in den Niederungen sich sammelt, während die Weser sehr schnell und mit sich führt, der ihr Bette soweit füllt, als die Strömung gestattet. Es mußte demnach die Strömung durch

*) Im zweiten Theile dieses Handbuchs § 90 ist hiervon die Rede gewesen.

Beförderung der Fluthwelle verstärkt werden, und hierzu bot ein sehr einfaches Mittel dar, indem die starke Krümmung der Stromstrecke vermieden werden konnte, sobald man die sogen. Niederbührener-Weser wieder öffnete, die im vorigen Jahrhundert geschlossen war. Hierdurch wurde der Strom wesentlich gerad geführt und abgekürzt, auch jene verwilderte Stelle ganz umgangen und noch der große Vortheil erreicht, daß das neue Strombett vollständig im Gebiete der Stadt Bremen lag. Es gelang mir, diese Auffassung zur Geltung zu bringen, und 1852 wurde der alte verlassene Arm wieder eröffnet. Seine Ausbildung erforderte freilich ein großes Opfer und die Strömung hat noch wenig zu seiner Verfestigung beigetragen, da der Abschluß des bisherigen Stromlaufes der ganz noch theilweise gestattet wurde, und sonach auch gewöhnlich noch große Wassermassen ihren Weg durch denselben folgen. Nichts desto weniger haben Sand-Ablagerungen im neuen Arme nicht statt gefunden. Die durch Baggern dargestellte Thalsperre erhält sich vollständig und alle Fahrzeuge gehen seit Jahren schon unbehindert hier hindurch. Außerdem sind, namentlich in der obern Mündung des alten Armes, bereits starke Verlandungen eingetreten und was der wichtigste Erfolg dieser Anlage ist, die Fluthwelle nunmehr auf dem neuen Wege viel kräftiger herauf, so daß Bremen mit Ausnahme der Zeiten einer starken Anschwellung, Fluthwechsel täglich sich zeigt und bei kleinem Wasser 2 Fuß trägt. Eine weitere Verbesserung der Verhältnisse steht in sich selbst, sobald der neue Arm vollständig ausgebildet und der alte endlich durch natürliche Verlandung geschlossen sein wird.

Viel größere Erfolge darf man aber für diese Stromstrecke nicht später erwarten, wenn einst die ganz verwilderte und durch mehrere Inseln gespaltene Strecke zwischen Warfleth und Rönne unterhalb der Grenze des Bremer Gebietes verbessert sein wird. Alsdann wird ohne Zweifel der Fluthwechsel bei Vegesack sich wesentlich vergrößern, und hierdurch wieder weiter aufwärts der Flußstrom verstärkt werden.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Wichtigkeit, welche die Fluth für die untern Stromstrecken hat, sind die eigentlichen Erscheinungen zu bezeichnen, die aus dem Zusammenstoß der beiden verschiedenen Strömungen entspringen. Wenn der Flußstrom in der Mündung selbst auch sehr kräftig ist, so vermindert

sich doch weiter aufwärts, und man kommt endlich an eine Stelle, wo er ganz aufhört, und beim Steigen des Wassers dasselbe weder vor- noch zurückfließt, also seine Bewegung durch das Zusammenfließen beider Strömungen ganz vernichtet wird. Oberhalb dieser Stelle wird der Ebbestrom oder die Bewegung in derjenigen Richtung, welche der obere Stromlauf verfolgt, gar nicht mehr unterbrochen. Die Geschwindigkeit vermindert sich zwar auch hier, sobald das Unterwasser in Folge der Fluth sich erhebt, und man kann an diesen Stellen noch einen Fluthwechsel von mehreren Zollen bemerken, aber ein Fluthstrom findet hier nicht mehr statt.

Mit dieser veränderten Stärke der Strömung steht auch die ungleiche Dauer der Fluth und Ebbe in naher Beziehung. Hierfür ist schon früher aufmerksam gemacht worden, aber es verdient besondere Erwähnung, daß die Dauer der Fluth oder des Steigens des Wasserspiegels, sich immer mehr vermindert, je weiter man den Strom hinaufgeht. An der Mündung hält die Fluth etwa 6 Stunden an, weiter aufwärts wird sie geringer und beschränkt sich zuletzt etwa auf 2 Stunden. Wenn sie noch kürzer wird, so giebt sie sich überhaupt nicht mehr zu erkennen. Hieraus folgt, daß der vordere Schenkel in der Scale der Fluthwelle viel steiler sein muß, als der hintere. Beim plötzlichen Andringen der Fluth, und indem sie in ihrer vollen Kraft das entgegenströmende Wasser aufhält, erfolgt ein schnelles Steigen, das jedoch von dem nach und nach sich sammelnden Oberwasser bald wieder gemäßiget, und ganz unterbrochen wird. Der Ebbestrom führt dagegen nicht allein das eingekommene Fluthwasser, sondern auch das Wasser aus dem Binnenlande ab, und wird durch letzteres nachhaltig gespeist.

Hieraus ergiebt sich unmittelbar, daß die Fluth in den Strömen um so mehr geschwächt werden muß, je größer die Wassermasse ist, welche diese abführen. Dieses bestätigt sich auch ganz allgemein, denn zur Zeit der Anschwellungen der Ströme dringt die Fluth nicht soweit aufwärts, als bei kleinem Wasser, und gerade während der allerniedrigsten Wasserstände giebt der Fluthwechsel sich noch an Punkten zu erkennen, wo man solchen sonst nicht wahrnimmt.

Der Einfluß der Fluth auf die untern Stromtheile und die Aenderungen, die hierdurch im Wasserstande an verschiedenen Punkten, wie im Gefälle, veranlaßt werden, ergeben sich am deutlichsten

aus dem Längenprofile, wenn darin der Wasserspiegel getragen wird, wie er durch gleichzeitige Pegel-Beobachtung an verschiedenen Orten gemessen ist. Zusammenstellungen sind für mehrere Ströme in England und Schottland gegeben, besonders interessant ist aber das von Minard*) 1817. Längenprofil der 3 Deutsche Meilen langen Strecke der unterhalb von Abbeville bis Le Crotoy, Saint-Valery gegenüber. Für dieses Profil mit den verschiedenen Linien der an fünf Pegeln gleichzeitig beobachteten Wasserstände sind die Beobachtungszeiten in der Figur neben den Linien angegeben.

Die untere Linie, welche zwischen Noyelle nur etwa 1 Meile von der Flußbette entfernt ist, bezeichnet den Wasserstand zum Eintritt der Fluth. Letztere bemerkt man an der rechten Seite der Figur zuerst in der mit 9 Uhr 50 Minuten bezeichneten Linie. Die zweite Fluthlinie um 10 Uhr 25 Minuten gemessen, ist schon bedeutend höher und erstreckt sich weiter stromaufwärts. Um 11 Uhr 17 Minuten erreicht bereits Noyelle, die für 11 Uhr 20 Minuten erstreckt sich bis Grand-Port und die sechste Linie bei Le Crotoy schon das Hochwasser bezeichnet, ist nahe an der Mündung vorgedrungen. Die folgenden beiden Linien von 1 Uhr und 1 Uhr 34 Minuten ergeben in Le Crotoy bereits ein niedriges Wasser, während die Fluthwelle noch weiter stromaufwärts und in diesen Zeiten bei Noyelle und Grand-Port das Hochwasser darstellt. In Lavier und Abbeville wurde das Hochwasser durch die beiden folgenden Linien erst um 2 Uhr 7' und 2 Uhr 28' bemerkt, während bei Le Crotoy das Wasser bereits 6 Fuß über den dritten Theil des ganzen Fluthwechsels gefallen ist. Die letzte Linie, um 4 Uhr 20' gemessen, zeigt, daß in der ganzen Strecke bereits Ebbe eingetreten, und das Gefälle überall umgekehrt ist.

Dieses Profil läßt auch auf die Dauer der Fluth und die Größe des Fluthwechsels an den verschiedenen Punkten schließen. Hierzu eignen sich aber ohne Zweifel nur vollständige Beobachtungsreihen über den Vorübergang der Fluthwelle an einzelnen Punkten, wie Fig. 21 eine solche für die Fluth bei Le Crotoy zeigt.

*) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des Ports de Mer

Der verstorbene Deichgräf Nienburg in Oldenburg hat über die Fluthverhältnisse der untern Weser sehr sorgfältige und gründliche Untersuchungen angestellt, deren Hauptresultate die folgenden sind.*) Die ganze Stromstrecke innerhalb des Großherzogthums Oldenburg von oberhalb der Mündung der Ochtum (die noch unmittelbar in den Hauptstrom der Weser sich ergoß) zur See, ist dem Fluthwechsel unterworfen, doch ist dieser in der Nähe der obern Grenze schon sehr mäßig, woher gemeinhin die Fluth nicht weit über diese Grenze hinaus bemerkt wurde.

Behufs der Feststellung der Deichhöhen wurden ein ganzes Jahr lang an verschiedenen Punkten die höchsten und kleinsten Wasserstände bei jedem Fluthwechsel beobachtet, und aus je 705 bis 750 zusammengehörigen Beobachtungen (nämlich aus allen Hoch- und Niedrig-Wasserständen in dem ganzen Jahre) wurden die arithmetischen Mittel genommen. Hieraus ergab sich die Höhe des Fluthwechsels an den verschiedenen Punkten in folgender GröÙe (war in Rheinländischem FußmaaÙe:

1. Vor dem Fedderwarder Siel zwischen der Weser und Jade	11' 1"
2. Vor der Mündung der Geeste	10' 11"
3. Vor Dedesdorf	10' 7"
4. Vor Brake	9' 11"
5. Vor dem Oldenbrooker Siel bei Käseburg	9' 8"
6. Vor Elsfluth	8' 6"
7. Reckum gegenüber	7' 10"
8. Vor Warfluth	6' 4"
9. Vor Lemwerder, Vegesack gegenüber	4' 3"
10. An der Mündung der Ochtum	3' 6"

Die letzte Angabe ist weniger genau, weil sie vorzugsweise auf einen besonders hohen Fluthen beruht. Es ergibt sich aber aus dieser Tabelle, daß in der mehr als 6 Meilen langen Strecke der See bis gegen Elsfluth die Fluthhöhe nur $2\frac{1}{4}$ Fuß abnimmt. In der folgenden Strecke bis Lemwerder, die noch nicht 2 Meilen ist, vermindert sie sich dagegen um mehr, als 4 Fuß. Der Grund dieser starken Abnahme ist ohne Zweifel in der geringen

*) Dieselben wurden mir vom Verfasser zur Benutzung in diesem Handbuche mitgetheilt.

Tiefe, so wie in den mehrfachen Spaltungen und der übermäßigen Verwilderung dieses Theils des Stromes zu suchen.

An derselben Stelle, wo die starke Verminderung des Fluthwechsels beginnt, liegt auch die Grenze, bis zu welcher die starken Anschwellungen der Ober-Weser noch auf den Wasserstand Einfluß haben. In Brake giebt sich dieser Einfluß beinahe gar nicht zu erkennen, auch am Oldenbrooker Siel ist er noch sehr unbedeutend, weiter aufwärts bemerkt man aber, daß bei Anschwellungen der Ober-Weser eben sowohl das Hochwasser, wie auch das niedrige Wasser beim Wechseln der Fluth und Ebbe eine größere Höhe am Pegel erreicht, als sonst, und zwar steigt das Hochwasser weniger, als das niedrige. Wenn letzteres sich noch 1½ Fuß über seiner gewöhnlichen Höhe erhält, so sinkt jenes schon auf den ordinären Stand der Fluth zurück.

Das Hochwasser liegt nicht an allen Beobachtungspunkten in demselben Horizonte, vielmehr erhebt es sich stromaufwärts zu einer größeren Höhe, oder wenn man die mittleren Stände des Hochwassers in das Längen-Profil einträgt, so stellen sie eine Linie dar, welche nach der Seeseite abfällt. Legt man durch das mittlere Hochwasser am Fedderwarder Siel eine Horizontal-Ebene, so befinden sich die mittleren Hochwasserstände der übrigen Punkte über demselben. Der Höhenunterschied gegen diesen Horizont beträgt:

bei Nordenhamm	4"
am Golzwarder Siel	8"
bei Brake	11"
bei Käseburg	1' 2"
am Piependammer Siel	1' 5"
bei Warfleth	1' 8"
bei Lemwerder	1' 11"
an der Ochtum	2' 2"

Was den Einfluß des Windes auf den Wasserstand der untern Weser betrifft, so hat man bemerkt, daß bei Sturmfluthen das Wasser sich mehrmals 10 bis 11 Fuß über das Hochwasser der Fluthen nach dem dermaligen Stande des Mondes und der Sonne erhoben hat. Im Februar 1825 überstieg es dieses sogar um 12 Fuß. Diese Höhe bezieht sich aber nur auf den mittleren Wasserspiegel, die einzelnen Wellen erreichten viel größere Höhen.

8. Fluth in Strom-Mündungen.

188

Ueber den Eintritt des Hochwassers an den verschiedenen Punkten zur Zeit der Voll- und Neumonde, also über die Höhen, sowie auch über die Dauer der Fluth und Ebbe, oder das Steigen und Fallen des Wassers, wurden gleichfalls Beobachtungen angestellt, deren mittlere Resultate die nachstehende Tabelle nachweist.

Beobachtungs-Orte	Hafenzeit		Dauer der			
			Fluth		Ebbe	
	Stunden	Minuten	Stunden	Minuten	Stunden	Minuten
am Fedderwarder Siel in der Weser .	12	10	6	12	6	12
Flagbalger Siel	12	50	5	20	7	5
Eenshammer Siel	1	20	5	10	7	15
Oldenhauser Siel	1	35	5	0	7	25
Brake	2	15	4	45	7	40
Oldenbrooker Siel	2	35	4	40	7	45
Elsflether Siel	2	50	4	5	8	20
Elsfleth	3	0	4	0	8	25
Piependammer Siel	3	50	3	40	8	45

Es ergibt sich hieraus wieder, daß die Fluthen weiter stromwärts nicht nur später eintreten, sondern ihre Dauer sich auch bedeutend verkürzt und dagegen die Ebben, oder die Zeiten, in denen der Wasserstand sich senkt, immer länger werden.

Um bessern Verständniß dieser Tabellen füge ich noch die Entfernung der Entfernungen für alle benannte Punkte bei, und sind dieselben vom Fedderwarder Siel ab gemessen.

Mündung der Geeste	2,0 Meilen
Flagbalger Siel	2,8 -
Dedesdorf	3,5 -
Eenshammer Siel	3,6 -
Golzwarder Siel	4,8 -
Brake	5,3 -
Oldenbrooker Siel bei Käseburg	5,9 -
Elsflether Siel	6,5 -
Elsfleth	6,7 -
Piependammer Siel	7,0 -
Reckum	7,0 -

Warfleth	7,6 Meilen
Lemwerder	8,3 -
Mündung der Ochtum	9,0 -

Am Flagbalger Siel wurden endlich noch die Geschwindigkeiten des Fluth- und des Ebbe-Stromes gemessen, und es ergab sich, daß der erstere, wenn er seine größte Stärcke erreichte, was bedeutender war, als der letztere. Dieser nahm nämlich Maximum nur die Geschwindigkeit von 3 Fuß 2 Zoll an, während jener die Geschwindigkeit von 3 Fuß 7 Zoll erreichte. Die Zeiten des höchsten und niedrigsten Wassers fielen aber keineswegs dem Wechsel der Strömung zusammen. Beim Eintritt des kleinen Wassers hatte der Ebbestrom vor diesem Siel noch die große Geschwindigkeit von 2 Fuß 7 Zoll, und er hörte erst auf, nachdem das Wasser schon 1 Fuß 6 Zoll wieder gestiegen war.

Indem, wie bereits oben erwähnt, der Fluthstrom, so wie der Ebbestrom um so stärker wird, und daher um so kräftiger die Vertiefung des Fahrwassers wirkt, je größer die Ausdehnung der weiter aufwärts belegenen Flächen ist, die bei den Fluthen mit Wasser gefüllt werden, so dürfen hier die Eindeichungen nicht weit getrieben werden, und namentlich müssen alte Flußarme sonstige Schlenken offen bleiben. Da jedoch bei Durchführung von Deichen, also beim wasserfreien Verschluss dieser Flächen, die anliegenden Ländereien vortheilhafter benutzt werden können, so werden solche Anträge dieser Art oft gestellt zu werden, und man muß dann sorgfältig prüfen, ob die Schifffahrt dabei nicht wesentlich droht wird. Andererseits tritt der durchgreifenden Regulirung untern Stromstrecken noch zuweilen das Vorurtheil entgegen, man bei der weitem Ausdehnung und größeren Höhe der Fluthwelle, die hierdurch veranlaßt wird, auch größere Anschwellungen des Wasserstandes herbeizuführen glaubt. Diese Furcht ist aber in sofern ganz unbegründet, als die Welle sich vornehmlich dadurch bildet, daß beim Sinken des Spiegels der See das Wasser aus den betreffenden Stromstrecken in dem erweiterten vertieften Bette leichteren Abflusses findet, als früher. Es tritt wirklich das Gegentheil ein, und die Entwässerung der Niederungen wird hierdurch wesentlich befördert. Die vorstehenden Mittheilungen über die mittleren Fluthhöhen der Weser ergeben auch,

Die absolute Höhe des Hochwassers stromaufwärts immer mehr ansteigt. Das Hochwasser an irgend einem Punkte kann daher nicht sowol von der Fluthwelle herrühren, die in die Mündung des Stromes einläuft, als von dem Binnenwasser, welches der Strom abführt. Sollte erstere die Anschwellung veranlassen, so könnte die Höhe der Welle nicht zunehmen, sie müßte vielmehr, von einzelnen scharfen Verengungen des Bettes abgesehn, nach und nach abnehmen. Es leuchtet auch an sich ein, daß eine hohe Untiefe oder eine sonstige Unregelmäßigkeit im Strombette, welche das weitere Auflaufen der Fluthwelle verhindert, nicht sowol das Uebertreten des Hochwassers hemmt, das von der Seeseite anläuft, als vielmehr den Abfluß zur Zeit der Ebbe. Nach Beseitigung dieser Untiefe bildet sich also die viel stärkere Fluthwelle weiter aufwärts allein dadurch aus, daß ihr unterer Scheitel tiefer herabsinkt. Berücksichtigt man hierbei noch, daß während des Eisganges an jener Stelle leicht Stopfungen oder Versetzungen eintreten können, die den Abfluß noch mehr hindern und möglicher Weise auf längere Zeit vollständig sperren, so folgt, daß man auch in den untern Stromstrecken, in welchen Fluth und Ebbe statt findet, eben so wie in den obern, für die Vorfluth nicht besser sorgen kann, als durch Geradlegung und Vertiefung des Strombettes.

Beim Eintritt der Fluth wie der Ebbe pflegt in den unteren Stromtheilen, sowie auch in Meeresbuchten, welche weite Mündungen haben, die Strömung nicht plötzlich ihre Richtung zu verändern und in die entgegengesetzte überzugehn. Namentlich in dem Falle, daß die Buchten durch Insel-Reihen vom Meere getrennt sind, also vielfache Verbindungen mit dem letzteren haben, wie etwa die Süder-See, treten nach und nach Aenderungen der Strömung ein, so daß die Richtung derselben die halbe Windrose langsam durchläuft, bis endlich der Ebbestrom sich entschieden ausbildet. Etwas Aehnliches, wenn auch viel weniger auffallend, zeigt sich häufig noch in Stromstrecken, die schon von der Mündung weit entfernt liegen. Dabei bemerkt man auch, daß die flacheren und die tiefer gehenden Fahrzeuge nicht übereinstimmend von der Strömung getroffen werden, daß also letztere in verschiedener Tiefe verschieden sein muß. Die vor Anker liegenden Schiffe lassen dieses deutlich erkennen, indem die Strömung, von der sie getroffen werden, sie bei ruhiger Witterung immer vom Anker fortreibt, und sie um

Störungen im Meere.

beständig schwingen, indem der vor-
hergehende, also der Richtung des Stroms

entgegengesetzte, beim Beginne der Fluth das
Umfeld von der neuen Strömung früher gefüllt
wird, als der Fluthstrom legt, während das danel-
stehende noch die frühere entgegengesetzte Strömung
zeigt. Diese Erscheinung durch das verschiede-
ne Gewicht des Wassers beider Strömungen erklärt.

Das schwerere Wasser, welches von der See
her strömt, während das süsse Binnenwasser
auf der Oberfläche noch in entgegengesetzter
Richtung strömt. Obwohl diese Erklärung in vi-
elen Fällen ist, die Erscheinung doch keineswegs
vollständig bemerkt man eben sowol bei der
Fluth als gerade die kleineren Fahrzeuge früher
auf der Fluth. Nach den mir hierüber gemachten Mit-
theilungen der Strömungen während des Umsetzens ge-
wöhnliche Wege. In der tiefen Stromrinne, wo
die Fluth, erhält sich beim Beginne der Fluth, wie
bei der früheren Strömung am längsten, während
sie in der Nähe der Ufer das Wasser schon
in die entgegengesetzte Richtung folgt. In weiten Strommündungen,
wie die Strömung aber überhaupt nicht auf
eine Zeit alsdann in die entgegengesetzte über-
geht, wie in ausgedehnten Meeresbuchten nach
dem Umlauf durchläuft alle Compass-Striche. Di-
es ist die von der Weser gemachte Erfahrung, daß die Ur-
sache viel später eintritt, als der Wasserstand sein Ma-
ximum erreicht, also derselbe bereits sehr mer-
klich gesunken oder gesunken ist, wiederholt sich in

der That der Ansicht, daß fortdauernd unter der
Fluthwelle das Stromwasser über der
Fluthwelle, daß also die Fluth sich nur auf die obere
Schicht des Wassers, und darunter ein ununterbrochener
Fluthstrom. Diese Auffassung wurde durch keine Thatsa-
che bestätigt, erscheint um so gewagter, als doch gewifs

nehmen ist, daß das specifisch leichtere Binnenwasser unter Seewasser oder dem braken Wasser seinen Weg fortsetzen

Nichts desto weniger behielt diese Ansicht bei einzelnen Orten noch Geltung, bis sie durch directe Beobachtungen in Zeit widerlegt ist. Der Ingenieur E. Olivier maafs zwitortrecht und Zwiyndrecht, so wie bei s'Gravendeel, wo schon deutende Fluthwechsel eintreten, die Geschwindigkeiten in denen Tiefen bis zum Grunde und zwar eben sowol bei der Fluth als bei der Ebbe, und es ergab sich, daß sie jedesmal in allen übereinstimmende Richtungen hatten, aber, wie auch sonst geschieht, in der Tiefe etwas geringer waren.*)

Bei der Mündung der Rhone hat man bemerkt, daß die bei dieser Witterung sehr auffällige Küstenströmung, die sich westwärts, nach Cette hinzieht, nur in der Oberfläche statt findet und nicht hinabreicht, als das süsse Wasser der Rhone, daß das See- und Flusswasser darunter aber an dieser Strömung nicht Theil nimmt.

Es muß ferner der Aufschlickung gedacht werden, die in den Stromtheilen, wo starke Fluth und Ebbe statt findet, oft bedeutend ist. Dieses ergibt sich theils aus der starken Trübung des Wassers, und theils auch aus den Ablagerungen von Schlick, die in kurzer Zeit eine überraschende Höhe erreichen. Sie zei-

vorzugsweise an solchen Stellen, die von der starken Strömung getroffen werden, und sind um so gröfser, je höher das Wasser sie überfluthet. Aus dem letzten Grunde ermäfsigt sich das rasche Anwachsen mit ihrer zunehmenden Erhebung, und wenn sie solche Höhe erreicht haben, daß das Hochwasser nur wenig darüber tritt, so hört die weitere Ablagerung beinahe auf. Um ein Beispiel solcher starken Aufschlickung mitzutheilen, mag erwähnt werden, wie ich einst darauf aufmerksam wurde, daß eine Helling an der Geeste neben Bremerhaven, welche vor zwei Monaten ein Schiff aufgezo-gen worden, die als vollständig gereinigt sein mußte, in ihrem untern Theile mit einer Schlickmasse von 6 Fufs Höhe überdeckt war.

In allen Strömen giebt es gewisse Stellen, wo diese Ablagerungen besonders stark sind. Für die Weser dürfte die Mündung

ver de Stroomsnelheid in den Waterafvoer der Rivieren. — Verhandelingen van het koninglijk Institut van Ingenieurs. 1858—1859. pag. 50.

der Geeste eine solche sein, für die Elbe ist es die Strecke zwischen Stade und Glückstadt. Das Wasser ist hier auffallend stärker getrübt, als sonst, und zugleich ist der Schlickfall hier bedeutender, als weiter aufwärts und abwärts. Hübbe hat diesen Gegenstand sehr eingehend untersucht. *) Die im Wasser schwebenden feinen erdigen Theilchen bewegen sich, so lange sie dem Fluthstrom noch nicht begegnen, dauernd stromabwärts. Sobald ihnen aber die Fluth entgegentritt, so werden sie anfangs nur wenig, aber später immer stärker zurückgetrieben, bis sie endlich an eine Stelle gelangen, wo sie bei der sehr weiten Oeffnung des Profiles in jeder vollen Fluth-Periode nur wenig vorrücken, und wo gleichzeitig in Folge früherer Ablagerungen oder wegen der Bodenbeschaffenheit auch der Fluthstrom in gleicher Weise, wie der Ebbestrom mit erdigen Theilchen gefüllt ist. Wenn in der Nähe der Mündung das Verhältniß des Profiles zu der vom Binnenlande kommenden Wassermasse sich auch noch gröfser herausstellt, also die durchschnittliche, stromabwärts gerichtete, Geschwindigkeit derselben noch geringer wird, so tritt hier dennoch der wesentliche Unterschied ein, dafs der Fluthstrom reineres Wasser herbeiführt, und das trübe Wasser, das bei der Ebbe abfließt, nicht mehr in der nächsten Fluth zurückkehrt. Dieses geschieht aber nur, wenn die gröfsere Meerestiefe in so geringer Entfernung vor der Strommündung liegt, dafs das austretende trübe Wasser in derselben Ebbe bis über diese Grenze hinaus geführt wird. Die schwebenden Theilchen können alsdann versinken und der beim Wellenschlage eintretende Rückstrom (§. 5) treibt den Schlick noch weiter in die See, so dafs er dem Angriffe des Fluthstromes weniger ausgesetzt ist. Wenn dagegen weit ausgedehnte Wattgründe seewärts noch davor liegen, wie etwa vor der Mündung der Jade, so wird die Erscheinung ganz anders, und das Wasser des Fluthstromes ist sogar stärker mit erdigen Theilchen geschwängert, als dafs des Ebbestromes. Es wird hierauf später (§. 11) zurückgekommen und der Beweis dafür durch directe Messungen gegeben werden.

Schliesslich sind noch die eigenthümlichen Erscheinungen zu erwähnen, die in manchen Strömen beim Eintritt der Fluthen

*) Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlicks. Zeitschrift für das Bauwesen. Jahrgang X. Seite 491 ff.

sich in der auffallendsten Weise bemerkbar machen. Die Fluthwelle ist obnerachtet der grossen Höhe, die sie stellenweise erreicht, dennoch im offenen Meere auf beiden Abhängen so sanft geneigt, daß man die Abweichungen von der Horizontalen nicht unmittelbar wahrnehmen kann, diese vielmehr nur aus der Vergleichung gleichzeitiger Wasserstände in benachbarten Orten sich erkennen lassen. Bei ganz ruhiger Witterung, wenn der Wasserspiegel vollkommen eben ist, tritt im Beginne der Fluth, durch diese veranlaßt, Wellenbewegung ein. Der Meeresspiegel nimmt also nicht in sanftem Uebergange eine andre Neigung an, vielmehr veranlaßt die Fluthwelle, indem sie das Gleichgewicht stört, schon gewöhnliche Wellen, die ihre Annäherung bezeichnen. So sah ich einst an der Mündung der Tyne, bei South-Shields die ganz glatte Oberfläche der See plötzlich in wellenförmige Schwingungen versetzt. Es waren jedoch nicht die kurzen Wellen, welche der Wind verursacht, sondern es zeigten sich lang ausgezogene Erhebungen, wobei die Oberfläche ihre volle Glätte behielt, und nur in flach gekümmte Formen überging. An den weit vortretenden niedrigen Felsbänken fing das Meer gleichzeitig zu branden an, und nach wenigen Minuten konnte man schon das Steigen des Wassers wahrnehmen.

Bei Flussmündungen, die nicht ausgedehnte Bänke vor sich haben, sondern unmittelbar in das offene und tiefe Meer treten, die also von der Fluthwelle in ihrer vollen Kraft und Geschwindigkeit getroffen werden, muß die erwähnte Erscheinung offenbar viel auffallender sich zeigen, in sofern dabei der Ebbestrom des Flusses überwunden und zurückgedrängt wird. Dieses geschieht jedoch nicht plötzlich, sondern zwischen dem Ebbestrome und dem Fluthstrome bleibt ein Zwischenraum, in welchem das Wasser stille steht, und von beiden Seiten gepreßt wird. In Folge des Druckes schwillt es an. Diese Erhebung oder Welle kann sich aber nicht an demselben Orte erhalten, sondern wie die Fluth weiter stromaufwärts dringt, so läuft sie vor derselben, und bewegt sich oft mit großer Geschwindigkeit. Man nennt diese Erscheinung in der Gironde, wo sie besonders auffallend war, aber gegenwärtig sich nur in geringerem Maasse noch zeigen soll, das Mascaret. Die erste Fluthwelle lief hier zur Zeit der Springfluthen mit solcher Geschwindigkeit ein, daß kein Pferd ihr folgen konnte, und sie nahm stellenweise, besonders da, wo die gegenüber stehenden Ufer sich einander näherten, eine

bedeutende Höhe an, die nach den Beschreibungen die Grösse ein Hauses erreichte. Sie überfluthete Alles, was ihr im Wege lag, und war daher für kleine offene Fahrzeuge besonders gefährlich.

Auch in der Charente und der Seine tritt dieselbe Erscheinung ein, woselbst man sie die Barre nennt, und wenn sie hier auch mächtiger stark ist, so bleibt sie dennoch für die Fischerböte sehr gefährlich. Letztere werden, wenn man ihren Eintritt besorgt, sehr vorsichtig in die Richtung des Stromes gebracht, um nicht von einer Seite getroffen zu werden. In der Seine läuft diese Welle bis gegen Rouen herauf, doch zeigt sie sich keineswegs bei allen hohen Fluthen, vielmehr bildet sie sich nur unter besonderen Witterungsverhältnissen vollständig aus. Auch an andern Küsten läuft die Fluth in gleicher Weise in die ihr entgekehrten Ströme ein. Im Severn erreicht diese Welle die Höhe von 10 Fufs, und noch viel bedeutender soll sie im Ganges und im Amazonen-Strome sein.

Wesentlich verschieden ist die Erscheinung in der Mündung der Adour, wo die Fluth gezwungen ist, durch ein sehr verengtes Profil in ein dahinter liegendes ausgedehntes Becken einzudringen. Wegen der beschränkten Weite der Oeffnung findet während der ganzen Dauer des Hochwassers ein starker Wassersturz hier statt, und im innern Becken ist zur Zeit der Springfluthen der Wasserstand noch 4 Fufs niedriger als in der See, woher die Schiffe erst ausgehn können, wenn die Ebbe schon längere Zeit angehalten, und diese Niveau-Differenz sich ausgeglichen hat.

§. 9.

Wasserstände der Ostsee.

In denjenigen Meeren, welche dem Einflusse der Fluth und Ebbe gar nicht, oder nur in geringem Maasse ausgesetzt sind, finden jene grossen und in kurzen Perioden wiederkehrenden Anschwellungen und Senkungen des Wassers, doch ist der Stand desselben auch hier keineswegs unveränderlich, vielmehr treten noch Schwankungen von solcher Ausdehnung ein, daß man dieselben weder für Hafen-Anlagen, noch auch beim Uferschutze unbeachtet lassen darf. Die Ursache dieser Schwankungen ist grossentheils, und gemeinlich ausschliesslich der Wind. Wenn die Wirkung desselben auf die

Wasserstand des Atlantischen Meeres wegen des überwiegenden Einflusses der Fluthen sich der Beobachtung mehr entzieht, so bietet die Ostsee dagegen die günstige Gelegenheit, den Effect des Windes erkennen zu lassen. Weit vollständiger würde dieses der Fall sein, wenn rings um dieses Binnenmeer regelmäßige Beobachtungen gemacht würden und mit einander verglichen werden könnten. Der folgenden Untersuchung sind nur die in den Preussischen Häfen und Lootsenstationen angestellten täglichen Messungen zum Grunde gelegt, die indessen schon sehr vollständig das Sachverhältniß aufklären, und etwaige Zweifel über die Ursache der zeitweisen hohen Anschwellungen beseitigen, besonders wenn man auch solche Pegelstationen berücksichtigt, die an den kleineren Binnenseen oder Haffen liegen.

Der Wasserstand wird, in gleicher Weise wie bei Strömen (II. Theil dieses Handbuches §. 61), an gewissen aufrechtstehenden Maassstäben, oder sogenannten Pegeln gemessen, die in diesem Falle, wo die Aenderungen nur langsam erfolgen, der Vorrichtung zum Selbstregistriren nicht bedürfen. Um so nöthiger ist es hier aber, daß die Maassstäbe dauernd in ihrer Stellung und in gleicher Höhe erhalten werden. Außerdem müssen sie auch an Orten angebracht sein, wo sie einem starken Wellenschlage nicht ausgesetzt sind, weil es sonst zuweilen unmöglich sein würde, den Wasserstand daran annähernd richtig zu messen.

Die Rücksicht auf die dauernde Erhaltung der Höhe des Nullpunktes macht es schon sehr wünschenswerth, den Pegel nicht an Bohlwerken und noch weniger an einzelnen Pfählen zu befestigen, sie vielmehr an sicher fundirten Ufermauern anzubringen. Doch auch wenn dieses geschehn ist, muß man die unvermeidlichen Reparaturen und Erneuerungen vorsehn, und es ist deshalb nothwendig, daß der Nullpunkt jedes Pegels noch durch sorgfältige Nivellements an andere Festpunkte in der Nähe angeschlossen und periodisch mit diesen immer wieder verglichen werde, damit die zufälligen Veränderungen leicht bemerkt und berichtigt werden können. Nach der bei uns geltenden Instruction vom 23. August 1845 wird ein solcher Vergleich in jedem Jahre einmal gefordert.

Wenn diese Vorsicht angewendet wird, so gewinnt man freilich die Ueberzeugung, daß der Pegel seine Höhe unverändert gegen das benachbarte Ufer behält, ob dieses selbst aber nicht etwa in

Folge tellurischer Wirkungen sich hebt oder senkt, und dadurch auch die Höhe des Pegels verändert, bleibt dennoch ungewiss. Sollten Bewegungen dieser Art in grösserer Ausdehnung eintreten, so würde man unter Voraussetzung der Unveränderlichkeit des mittleren Wasserstandes aus den Pegel-Beobachtungen umgekehrt auf die erfolgte Hebung oder Senkung des Ufers schliessen können.

Erscheinungen dieser Art kommen vielfach vor, und ein grossartiges Beispiel hiervon zeigt sich auch an der Ostsee. An vielen Stellen der Schwedischen Küste erkennt man nämlich deutlich, daß in früheren Zeiten und zwar keineswegs in weit entfernten, das Meer viel höher gegen das Ufer stand, als gegenwärtig. Eisene Ringe, zum Befestigen kleiner Fahrzeuge bestimmt, sind jetzt von den Böten aus nicht mehr zu erreichen, frühere Landeplätze sind wegen der grossen Höhe unbrauchbar geworden, u. d. gl. Schon Celsius bemerkte diese Veränderungen, und schloß daraus, daß die Ostsee eben so wie die Nordsee in jedem Jahrhunderte sich um 40 Zoll senke. Die Schlussfolge war unbedingt in sofern unrichtig, als die vorausgesetzte Senkung sich auch an andern Ufern dieser Meere zu erkennen geben mußte, und unmöglich an den Häfen und noch weniger an den Deichen vor den Marschen an der Nordsee unbemerkt bleiben konnte. Leopold von Buch erklärte daher viel passender diese Erscheinung durch die stellenweise Erhebung des Landes. Die Richtigkeit dieser Auffassung hat sich seitdem vollständig bestätigt und zwar in der Art, daß die Schwedische Küste sich an verschiedenen Stellen ganz ungleichmäfsig hebt. Im Maximum beträgt die Hebung jährlich etwas über einen halben Zoll.*¹⁾ Dabei bleibt es aber sehr zweifelhaft, ob die Bewegung in gleichem Sinne sich dauernd fortsetzt, oder ob vielleicht einst wieder Senkungen eintreten werden. In der Nähe von Stockholm fand man beim Ausgraben eines Canales unter einer Bank von Seemuscheln ein kleines Gebäude mit aufgemauertem Heerde, auf dem noch Holzkohlen lagen. Seitdem dort Menschen wohnen, hatte sich also der Boden zuerst unter das Meer gesenkt, und alsdann wieder darüber erhoben. In der Zeit, wo die grossen Umformungen der Erdoberfläche erfolgten, sind ähnliche ganz verschiedenartige Bewegungen vielfach vorgekommen, wie dieses die Ablagerungen und For-

* Poggendorfs Annalen. Band 34. Seite 444 ff.

nationen zeigen, aber auffallend ist es gewiss, daß an den Ufern der Ostsee solche Aenderungen sich noch gegenwärtig bemerkbar machen.

Es konnte nicht fehlen, daß diesen Thatsachen gegenüber die Frage entstand, ob andere Ufer der Ostsee gleichfalls Bewegungen erkennen lassen, oder ob sie unverändert gegen den mittleren Wasserstand ihre Höhe behalten. An der Russischen Küste und zwar bei Petersburg und Cronstadt überzeugte man sich, daß seit zwei Jahrhunderten keine auffallende Aenderung eingetreten sei. Dasselbe kann auch mit gleicher Bestimmtheit von mehreren Stellen der Preussischen Küste gesagt werden, und zwar in Bezug auf viel entferntere Zeiten. Namentlich Danzig und Königsberg mit ihren niedrigen Umgebungen haben ein halbes Jahrtausend hindurch ihre Höhenlage gegen den Spiegel der See nicht wahrnehmbar verändert.

Bestimmte Angaben hierüber lassen sich indessen nur machen, wenn sichere Wasserstands-Beobachtungen vorliegen. Solche sind in unsern Seehäfen seit 1811 angestellt worden, und auf Veranlassung von Alexander von Humboldt versuchte ich im Jahre 1844*) zu ermitteln, ob aus diesen eine Senkung oder Hebung irgend einer Stelle sich nachweisen liesse. Zu diesem Zwecke wurden für jeden Beobachtungsort, so weit die Ablesungen mit einiger Sorgfalt gemacht waren, zunächst die jährlichen mittleren Wasserstände berechnet und aus diesen alsdann nach der Methode der kleinsten Quadrate der wahrscheinlichste Werth der jährlichen Aenderung und der wahrscheinliche Fehler dieses Werthes bestimmt. Es ergab sich, daß die gefundene jährliche Aenderung meist kleiner und nur selten wenig größer war, als ihr wahrscheinlicher Fehler, daß also das Vorhandensein einer solchen durchaus nicht sicher sich herausstellte. Eine Ausnahme hiervon zeigte sich nur bei Memel, woselbst diese Untersuchung zu der sehr bedeutenden Hebung des Pegels oder des Landes von $3\frac{1}{2}$ Fuß in 100 Jahren führte. Dieses Resultat war an sich durchaus unwahrscheinlich und mit der niedrigen Lage des Hafens und der Stadt ganz unvereinbar. Bei näherer Untersuchung ergab sich schließlic, daß der Festpunkt, mit dem der Pegel ur-

*) Vergleichung der Wasserstände an der Preussischen Ostseeküste. Poggen-
dorf's Annalen, Band 64, Seite 548 ff.

sprünglich durch ein Nivellement verbunden gewesen, seit langer Zeit nicht mehr existirte, und daher der Pegel, der an einem Pfahle befestigt und wahrscheinlich oft durch das Eis gehoben war, seine frühere Stellung verändert hatte, ohne daß dieses bemerkt werden konnte. Seitdem im Jahre 1845 die erwähnte neue Instruction, die eben hierdurch veranlaßt wurde, ertheilt ist, sind solche Irrthümer nicht mehr zu besorgen. Es ergiebt sich aber aus der vor Kurzem von mir wiederholten Vergleichung, die im Folgenden ausführlicher mitgetheilt werden soll, daß auch bei Memel in neuerer Zeit keine wahrnehmbare Aenderung eingetreten ist. Aus den dreizehn Jahrgängen von 1831 bis 1843 ergab sich nämlich der mittlere Wasserstand gleich 1 Fuß 6,0 Zoll und aus den 16 Jahren 1846 bis 1861 stellt sich derselbe auf 1 Fuß 5,8 Zoll. Der Unterschied beträgt also nur 0,2 Zoll, während der wahrscheinliche Fehler der letzten Bestimmung gleich 0,34 Zoll, also noch größer ist. Hiernach findet also an keinem Punkte der Preussischen Ostseeküste Hebung oder Senkung des Landes statt, und die Aenderungen des Wasserstandes, die man an den Pegeln bemerkt, rühren allein vom Steigen oder Fallen der See her.

Um diese Aenderungen, wie sie sich an verschiedenen Orten herausstellen, mit einander vergleichen zu können, muß man zunächst den mittleren Wasserstand für jede Pegelstation berechnen, und in sofern in früherer Zeit auf die Beobachtungen weniger Aufmerksamkeit verwendet, auch die Ablesungen nicht an bestimmter Tagesstunde gemacht wurden, so bezieht sich die folgende Untersuchung ausschließlich auf die Notirungen, nach dem Jahre 1845. In den meisten Häfen wurde die betreffende Aenderung bereits am 1. Januar 1846 eingeführt, auf einigen Stationen dagegen erst später. Für letztere mußte daher der Jahrgang 1846 ausfallen, und sonach sind dieser Berechnung theils 16 und theils 15 Jahrgänge (nämlich bis zum Schlusse des Jahres 1861) zum Grunde gelegt.

Zunächst wurde für jeden Beobachtungsort und für jeden einzelnen Jahrgang der mittlere Wasserstand berechnet, also das arithmetische Mittel aus allen Beobachtungen, die täglich um 12 Uhr Mittags angestellt sind, gesucht. Sodann wurde aus diesen 15 oder 16 Mittelzahlen nochmals das arithmetische Mittel genommen. Jedes einzelne Jahresmittel weicht von diesem letzteren ab, und hieraus kann man nach der Methode der kleinsten Quadrate den wahr-

cheinlichen Fehler des berechneten mittleren Wasserstandes finden, und zwar eben sowol, wenn letzterer nur aus einem einzelnen Jahrgange, als wenn er aus den vorliegenden 15 oder 16 Jahrgängen hergeleitet wurde. Die nachstehende Tabelle enthält diese Resultate, nämlich in Spalte I die Anzahl der zum Grunde gelegten Jahrgänge, in II den mittleren Wasserstand, wie derselbe sich aus diesen Jahrgängen ergibt. Die beiden letzten Spalten geben endlich die wahrscheinlichen Fehler der mittleren Wasserstände an, und zwar III denjenigen des einzelnen Jahresmittels und IV den des Mittels aus allen Jahrgängen.

	I.	II.	III.	IV.
Wittower Posthaus . .	15	3 F. 9,1 Z.	0,82 Z.	0,22 Z.
Barhöft	15	3 - 9,0 -	0,68 -	0,18 -
Stralsund	15	3 - 9,0 -	0,78 -	0,21 -
Swinemünde	16	3 - 6,0 -	1,08 -	0,28 -
Colbergermünde . . .	16	4 - 10,1 -	1,08 -	0,28 -
Rügenwaldermünde . .	16	3 - 5,6 -	1,05 -	0,27 -
Stolpmünde	16	2 - 3,3 -	1,39 -	0,36 -
Neufahrwasser	16	11 - 2,6 -	1,09 -	0,28 -
Pillau	16	7 - 7,8 -	1,13 -	0,29 -
Memel	16	1 - 5,8 -	1,33 -	0,34 -
Königsberg	16	7 - 8,4 -	1,41 -	0,37 -
Elbing	16	7 - 7,6 -	1,36 -	0,35 -

Die ersten beiden Stationen liegen, wie in § 7 bereits angegeben ist, neben dem sogenannten nördlichen Fahrwasser, welches von Stralsund aus zwischen den Inseln Rügen und Hiddens-Oe nach dem offenen Meere führt. Die Station Elbing befindet sich aber nicht neben der Stadt, sondern ohnfern der Mündung des Hafens, an dem sogenannten Hafenhause.

Auffallend sind die sehr bedeutenden Abweichungen in der Gröfse der wahrscheinlichen Fehler der Mittelzahlen für die verschiedenen Beobachtungsorte. Wo die westlichen Winde das Meer aufreiben, und das Wasser alsdann nicht etwa, wie bei Pillau, in einen ausgedehnten Binnensee eintreten kann, stellen sich die Abweichungen am grössten heraus. Dieser überwiegende Einfluß des

Westwindes, der auf der nördlichen Hemisphäre der vorherrschende ist, wird sich auch aus dem Folgenden wieder zu erkennen geben. Je nachdem er in einem Jahre mehr oder weniger eintritt, stellt sich auch der mittlere Wasserstand höher oder niedriger, und der Unterschied ist um so größer, je mehr der Beobachtungsort dem Einflusse des Westwindes ausgesetzt ist.

Merkwürdiger ist noch die Erscheinung, welche sich aus dem Vergleichung der einzelnen Jahrgänge ergibt, daß nämlich der mittlere Wasserstand einzelner Jahre sich ungewöhnlich hoch und in andern Jahren ungewöhnlich niedrig heraussteht. In dem Jahre 1854 geschah das erste, und im Jahre 1857 das letzte. Die nachfolgende Tabelle giebt die bezüglichen Differenzen der Jahresmittel gegen den allgemeinen mittleren Wasserstand an.

	1854	1857
Wittower Posthaus . . .	+ 1,0 Zoll	— 2,3 Zoll
Barhöft	+ 0,6 -	— 1,2 -
Stralsund	+ 1,9 -	— 1,1 -
Swinemünde	+ 2,6 -	— 2,8 -
Colbergermünde	+ 2,8 -	— 3,2 -
Rügenwaldermünde . . .	+ 3,0 -	— 2,9 -
Stolpmünde	+ 3,4 -	— 3,2 -
Neufahrwasser	+ 3,7 -	— 2,5 -
Pillau	+ 3,6 -	— 2,2 -
Memel	+ 3,4 -	— 3,4 -
Königsberg	+ 4,6 -	— 3,0 -
Elbing	+ 3,1 -	— 2,9 -

Hieraus ergibt sich, daß in manchen Jahren die Ostsee Allgemeinen einen höheren Stand annimmt, oder mehr mit Wasser angefüllt ist, als in andern. Die Abweichungen gegen den mittleren Wasserstand sind indessen keineswegs für alle Beobachtungsorte gleich groß, sie stellen sich vielmehr an der östlichen Seite der Küste viel bedeutender heraus, als in der Nähe des Sundes, und dieses Verhältniß tritt nicht nur bei den positiven, sondern auch bei den negativen Abweichungen ein. Die größere Erhebung an der östlichen Seite ist wieder die unmittelbare Folge der vorherrschenden westlichen Winde, die größere Senkung dagegen erklärt sich

nur durch das Abtreiben des Wassers bei östlichen Winden, während die westwärts belegenen Stationen in beiden Fällen sich mehr dem constanten Wasserstande der Nordsee anschließen. Die starke Senkung bei Wittower Posthaus rührt vielleicht davon her, daß bei östlichen Winden die Binnenseen der Insel Rügen sich stark senken, und ihr Inhalt auf der Nord- und Südseite der Insel Hiddensee einen leichten Abfluß findet, also vor dieser Station die Zuflüsse aufhören, während der Abfluß durch die Gestaltung des Landes sehr begünstigt ist.

Augenscheinlich ergibt sich aus der Verschiedenheit dieser Abweichungen vom mittleren Wasserstande, daß die Ostsee vor der Preussischen Küste in diesen beiden Jahren ganz verschiedene Gefälle hatte. Daß dieselben dauernd bleiben, ist nicht anzunehmen, sie stellen sich vielmehr nur bei anhaltenden und stärkeren Winden ein, doch mußten sie alsdann noch größer sein, da sie den bedeutenden Einfluß auf die Jahresmittel ausübten.

Sehr wichtig ist ferner die Frage, wie hoch das Wasser in außerordentlichen Fällen an den einzelnen Stationen steigt, und wie tief es herabsinkt, und hieran schließt sich die zweite Frage an, welches der wahrscheinliche Werth der im Laufe eines Jahres zu erwartenden höchsten Anschwellung und tiefsten Senkung ist. Zu diesem Zwecke wurden für jede Station die höchsten und niedrigsten Wasserstände, die außer den um 12 Uhr beobachteten, noch besonders in den Tabellen notirt werden, für jeden Jahrgang zusammengestellt, die absoluten Maxima und Minima derselben gesucht und außerdem die Mittelzahlen aus allen berechnet. Um jedoch den Einfluß einigermaßen beurtheilen zu können, den das zufällige Zusammentreffen der Witterungsverhältnisse auf die kleine Anzahl der zum Grunde gelegten höchsten und niedrigsten Wasserstände jedes Jahrganges ausübte, sind aus den Abweichungen vom Mittel noch die wahrscheinlichen Fehler der gefundenen Mittelzahlen berechnet. Die nachstehende Tabelle giebt für jeden der zwölf Beobachtungsorte sowol für das höchste, als für das niedrigste Wasser diese Werthe an. Die Spalte I enthält die absoluten Maxima und Minima vergleichungsweise gegen die oben angegebenen mittleren Wasserstände, die Spalte II die Mittelzahlen aus den jährlichen höchsten und niedrigsten Ständen, und die Spalte III die wahrscheinlichen Fehler dieser Mittelzahlen, Alles in Zollen ausgedrückt.

	Höchste W.-St.			Niedrigste W	
	I.	II.	III.	I.	II.
Wittower Posthaus	+ 43	+ 25,3	5,5	— 48	— 28
Barhöft	+ 44	+ 30,7	4,4	— 48	— 33
Stralsund	+ 49	+ 34,2	5,4	— 62	— 37
Swinemünde	+ 54	+ 33,6	7,1	— 47	— 30
Colbergermünde	+ 56	+ 33,9	7,2	— 42	— 28
Rügenwaldermünde	+ 45	+ 29,3	5,4	— 35	— 23
Stolpmünde	+ 51	+ 38,2	5,4	— 36	— 23
Neufahrwasser	+ 45	+ 30,0	6,0	— 32	— 22
Pillau	+ 34	+ 22,3	3,8	— 29	— 18
Memel	+ 48	+ 28,5	7,7	— 28	— 19
Königsberg	+ 55	+ 35,6	6,7	— 38	— 22
Elbing	+ 77	+ 34,8	11,3	— 39	— 24

Vergleicht man diese Werthe mit einander, so ergibt sich im Allgemeinen der Wasserstand der Ostsee beinahe eben & unter den mittleren herabsinkt, wie er zu Zeiten sich über d ben erhebt. Die durchschnittlich in jedem Jahre eintretende Senkung beträgt im Mittel für die ersten zehn, unmittelbar a See belegenen, Beobachtungsorte 2 Fufs 2½ Zoll und die schnittliche höchste Anschwellung daselbst 2 Fufs 6½ Zoll, s die Differenz zwischen dem höchsten und kleinsten Wasse durchschnittlich auf 4 Fufs 9 Zoll stellt. Die einzelnen Be tungsorte ergeben andre Resultate. Das Maximum der Dif tritt bei Stralsund ein, wenn Elbing wieder unbeachtet bleibt selbst die Differenz noch etwas gröfser ist. Auffallender sinkt aber bei Stralsund das Wasser durchschnittlich um 3, tiefer herab, als es anschwillt. Der Grund dafür ist ohne Z in den localen Verhältnissen zu suchen, insofern hier in g Weise, wie für Wittower Posthaus bereits erwähnt ist, das V bei keinem Winde stark hinzugetrieben werden kann, ohne d gegenüber einen leichten Abfluß fände. Bei den beiden mehr wärts belegenen Stationen Wittower Posthaus und Barhöft tri selbe Erscheinung aus gleicher Ursache ein, doch sind hier d schwellungen wie die Senkungen etwas geringer. An allen ü Beobachtungsorten schwillt das Wasser über den mittleren höher an, als es darunter herabsinkt.

Bei Swinemünde und noch mehr bei Colbergermünde, i in geringerem Maaße bei Stolpmünde ist die Anschwellung

an den übrigen unmittelbar an der See belegenen Stationen. Für Swinemünde ist dieses leicht erklärlich, insofern das Ufer hier eine tiefe Bucht bildet, in welche entgegenstehende Winde das Wasser stark hineintreiben. Dasselbe findet jedoch keinen leichten Abfluss nach dem Haffe, weil die Swine nicht nur sehr enge, sondern ausserdem auch vielfach gekrümmt und über 2 Deutsche Meilen lang ist. Sie erstreckt sich sogar grossentheils in einer Richtung, die rechtwinklig gegen denjenigen Wind gekehrt ist, der die Anschwellung der Swinemünde veranlasste, wobei also der Abfluss nicht befördert, vielmehr zum Theil sogar gehemmt wird. Colbergermünde und Stolpmünde liegen dagegen an ziemlich geraden Uferstrecken, während Rügenwaldermünde nahe auf eine vortretende Ecke trifft. Alle drei Orte haben keine ausgedehnte Binnenseen hinter sich, in welche das steigende Wasser eintreten könnte.

Neufahrwasser ist durch die Halbinsel Hela, so wie auch auf der andern Seite durch die nordwärts sich hinziehende Frische Nehrung und durch das westliche Ufer des Samlandes bis Brüsterort so sehr geschützt, dass die Anschwellungen und Senkungen hier nicht bedeutend sein können. Wenn diese bei Pillau noch kleiner werden, so rührt dieses unzweifelhaft davon her, dass die westlichen Winde, welche die Anschwellungen verursachen, gleichzeitig durch die weite Verbindungs-Oeffnung, oder das Tief, das Wasser in das Frische Haff treiben, das in gleicher Richtung über 3 Meilen bis zur Mündung des Pregels sich hinzieht. Auch sein südlicher Theil, das Elbinger Haff genannt, nimmt alsdann grosse Wassermassen auf. Bei Memel sind die Anschwellungen viel gröfser, weil das dahinter liegende Curische Haff sich nicht von Westen nach Osten, sondern von Norden nach Süden hinzieht, und die schmale, nahe 2 Meilen lange Verbindung gleichfalls diese Richtung hat. Der Eintritt des Wassers aus der See in dieses Haff kann daher nicht mit derselben Leichtigkeit wie bei Pillau erfolgen. Die Senkungen des Wassers unter den mittleren Stand sind dagegen an diesen beiden Orten nahe dieselben und vergleichungsweise gegen die übrigen Pegelstationen sehr geringe. Die dahinter liegenden Haffe, die bei fallender See reichlich abfliessen, verhindern ohne Zweifel die besonders tiefen Wasserstände, und insofern die Ausströmung aus denselben stets viel schwächer bleibt, als die Einströmung bei starkem Sturme, so liefert auch die schmale und lange Mündung des Curischen Haffes noch

die nöthige Wassermenge, um das Wasser vor Memel nicht herabsinken zu lassen.

Bei Königsberg sind die durchschnittlich in jedem Jahr kommenden Anschwellungen um 1 Fuß 9 Zoll höher, als in weil hier das auftreibende Wasser nicht weiter abfließen kann also stärker ansammeln muß. Bei Elbing erreichte das Wasser im Jahre 1855 zwar die ganz ungewöhnliche Höhe von 6 Fuß über dem mittleren Stande, doch wurde dieser hohe Stau nur zufällige äußere Verhältnisse veranlaßt und die höchste jährliche Anschwellung ist durchschnittlich nicht größer, als in Königsberg.

Es dürfte von Interesse sein, die gleichzeitig längs der Küste eintretenden hohen und niedrigen Wasserstände kennen zu lernen. In der nachstehenden Tabelle sind einige derselben zusammengestellt, doch darf dabei nicht unerwähnt bleiben, daß die Richtung und Stärke des Windes nach Angabe der Wasserstände niemals bei allen Stationen sich gleich bleiben, vielfach darin gleichzeitig ganz entgegengesetzte Winde angegeben sind, während doch anzunehmen ist, daß Irrthümer in dieser Beziehung vorkommen konnten. Häufig ergeben auch die Tabellen, daß derselbe Wind, der an einem Beobachtungsorte bereits als Sturzwind bezeichnet ist, an den entfernteren Orten erst am folgenden Tage eintritt. Die hier zusammengestellten Wasserstände sind daher meistens nicht an demselben, sondern an zwei auf einander folgenden Tagen abgelesen, doch ist dieses in der nachstehenden Tabelle jedesmal erwähnt, woselbst auch die verschiedenen Angaben des Windes im Allgemeinen mitgetheilt sind. Die Zahlen der Tabelle zeigen nach, um wieviel Zolle das Wasser über den mittleren Stand sich erhob, oder sich darunter senkte.

	I.	II.	III.	IV.	V.
Wittower Posthaus	+ 29	+ 33	+ 43	— 20	— 21
Barhöft	+ 27	+ 33	+ 44	— 21	— 21
Stralsund	+ 29	+ 33	+ 49	— 24	— 41
Swinemünde	+ 30	+ 42	+ 42	— 18	— 18
Colbergermünde	+ 32	+ 33	+ 50	— 16	— 13
Rügenwaldermünde	+ 28	+ 33	+ 42	— 15	— 15
Stolpmünde	+ 39	+ 39	+ 45	— 13	+ 3
Neufahrwasser	+ 30	+ 45	+ 39	— 12	— 3
Pillau	+ 34	+ 30	+ 26	— 12	+ 3
Memel	+ 57	+ 20	+ 27	— 11	+ 18
Königsberg	+ 53	+ 36	+ 24	— 14	— 3
Elbing	+ 43	+ 70	+ 29	— 11	— 39

Die Spalte I bezeichnet die hohen Wasserstände im März 1849. Maxima traten an den östlichen Stationen am 13, in Memel Königsberg sogar schon am 12, von Colbergermünde ab bis zur Posthaus dagegen erst am 14. März ein. Die Richtung des Windes wird sehr verschieden angegeben und zwar bald Nord-Nord-Ost, bald Nord-Nord-West, bei Memel sogar West. Was die Stärke des Windes betrifft, so wird derselbe überall als Sturm bezeichnet.

Die zweite Spalte bezieht sich auf die Wasserstände vom 15. 16. März 1850. Der Wind war an allen Beobachtungsorten Nord-Ost oder Nord-Nord-Ost, und wurde fast überall Sturm genannt. An den westwärts gelegenen Stationen schwoll das Wasser am 15. am stärksten an, von Stolpmünde ab bis Memel traten das Maximum erst den 16. ein. Auffallend ist die sehr hohe Höhe bei Elbing.

Bei dem Sturme am 21. und 22. Januar 1858 traten die Wasserstände ein, welche die Spalte III angiebt. Der Wind war im Allgemeinen nördlich, auf einigen Stationen aber Nord-Ost und selbst Nord-Ost. Der höchste Wasserstand trat wieder an den westbelegenen Punkten früher ein, als an den östlichen.

Die Spalte IV enthält die niedrigen Wasserstände vom 19. April 1858. Der Wind war nur schwach, aber er stand anhaltend in West und West-Süd-West.

Am 26. Juli 1858 traten die in Spalte V angegebenen Wasserstände ein. Die Stärke des Windes wird an allen Beobachtungsorten als Sturm bezeichnet, seine Richtung aber sehr verschieden angegeben, nämlich auf den beiden ersten Stationen West, von Stralsund bis Stolpmünde West-Süd-West, bei Neufahrwasser, Pillau und Memel Süd-West. Diese sehr abweichenden Windrichtungen erklären zum Theil die auffallende Verschiedenheit der Wasserstände. Während die meisten Stationen eine starke Senkung ergeben, so erhebt sich in Stolpmünde, Pillau und Memel das Wasser über den normalen Stand, am letzten Orte sogar um $1\frac{1}{2}$ Fuß.

Die letzte Spalte VI enthält endlich die zum Theil ganz ungewöhnlich niedrigen Wasserstände vom 26. November 1861. Der Wind, der mehrfach Sturm genannt wird, ist meist als Süd, oder Süd-West bezeichnet. Es muß aber bemerkt werden, daß bei dieser Richtung, doch bei größerer Stärke desselben, der Pegel

bei Elbing 6 Tage früher — 38 Zoll gegen den mittleren Wasserstand ergeben hatte.

Wenn die Erscheinungen, welche die vorstehende Tabelle nachweist, sich auch keineswegs in allen Einzelheiten sicher erklären lassen, so ergibt sich daraus doch unverkennbar, daß das Meer anschwillt, wenn der Wind gegen das Ufer gerichtet ist, und daß es fällt, wenn in entgegengesetzter Richtung der Wind von der Landseite kommt. Die Anschwellung oder Senkung ist aber um so höher oder tiefer, je heftiger und dauernder diese Winde sind. Ohne Zweifel tritt hierbei nicht nur diejenige Erhöhung des Wasserstandes ein, welche das Auflaufen der Wellen auf den ansteigenden Grund bedingt, und wovon §. 5 die Rede war, sondern die bewegte Luft theilt außerdem auch der Oberfläche des Wassers eine entsprechende Bewegung mit, und giebt derselben eine sanfte Steigung in dieser Richtung. Wie einfach und natürlich diese Erklärung auch ist, so hat man sich dennoch damit nicht begnügt, und vielmehr die theilweisen Anschwellungen durch den verschiedenen Barometerstand zu erklären versucht. Es leidet auch keinen Zweifel, daß wenn die Barometerstände an zwei verschiedenen Punkten desselben Meeres von einander abweichen, und eine Ausgleichung in der Atmosphäre nicht erfolgt, daß alsdann das Wasser unter dem stärkeren Drucke seitwärts ausweichen und eine Erhebung des Wasserspiegels an der Stelle veranlassen wird, die weniger belastet ist. Manche Beobachtungen zeigen in der That den Zusammenhang zwischen dem Wasserstande der See und dem Luftdrucke. Wenn der mittlere Barometerstand mit β bezeichnet wird, so müßte bei einem Barometerstande b der Wasserstand sich über den mittleren um

$$n(\beta - b)$$

erheben, und der Factor n wäre nichts anderes, als das Verhältniß des specifischen Gewichtes des Quecksilbers zu dem des Seewassers. Die auf Veranlassung des Französischen Marine-Ministeriums angestellten Untersuchungen ergaben in der That nach den in Lorient gemachten Beobachtungen $n = 15,5$ und nach denjenigen von Bres $n = 12,3$. Zu noch genaueren Resultaten führten die Beobachtungen von Toulon, aus welchen Aimé in der That das richtige Verhältniß $n = 13,1$ herleitete.

Wie interessant diese Resultate auch sind, so darf man doch nicht unbeachtet lassen, daß verschiedene Barometerstände schon a

h entsprechende Luftströmungen oder Winde veranlassen, und daß
se um so stärker sind, je größer die Differenz jener war. Sonach
nimmt man auch bei dieser Erklärung wieder auf die frühere zu-
ck. In vielen Fällen bemerkt man aber beim Vergleiche der Was-
stände verschiedener nicht weit von einander entfernter Orte so
sehr Unterschiede, daß diese sich durch die Differenzen der Ba-
rometerstände nicht mehr erklären lassen. Namentlich zeigen die-
s die Beobachtungen in Königsberg und Elbing. Beide Stationen
nd nur 12 Meilen von einander entfernt, die Barometerstände kön-
n daher unmöglich längere Zeit hindurch bedeutend von einander
bweichen, und nichts desto weniger sind die Wasserstände daselbst
t sehr verschieden. Schon die vorstehende Tabelle weist sowol
a Spalte II, wie in Spalte V Unterschiede von 34 Zoll nach. Sollte
er verschiedene Luftdruck diese veranlaßt haben, so müßten die
rometerstände an beiden Orten sogar um $2\frac{1}{2}$ Zoll von einander
verschieden gewesen sein. Viel natürlicher ist die erste Erklärung.
Der Sturm aus Nord-Ost, der also in der Richtung des Haffes wehte,
rieb im ersten Falle das Wasser vor Elbing auf, während im zwei-
m Falle der entgegengesetzte Sturm, nämlich aus Süd-West es ent-
erte, und den Wasserspiegel hier senkte.

Schließlich muß noch einer auffallenden Erscheinung gedacht
werden, welche sich aus der Vergleichung der Wasserstände sehr
euthlich ergibt. Es zeigt sich nämlich, daß auf sämtlichen, un-
mittelbar an der See belegenen Stationen der mittlere Wasserstand
ach den Jahreszeiten sich verschieden herausstellt, und daß
elbst die einzelnen Jahrgänge für die Sommermonate höhere Was-
erstände ergeben, als für die Wintermonate. Die folgende Tabelle
weist diese Verschiedenheit speciell nach, indem sie zunächst an-
gibt, um wieviel Zolle der mittlere Wasserstand jedes Monats wäh-
rend der 15 oder 16 Jahrgänge für jeden Beobachtungsort über oder
unter den oben bezeichneten mittleren Wasserstand fällt. Die letzte
Reihe enthält aber die arithmetischen Mittel aus diesen Differenzen
für die 10 Beobachtungsorte.

	Januar	Februar	März	April	Mai
Wittower Posthaus .	— 1,0	— 0,2	+ 0,3	— 2,1	— 2,5
Barhöft	— 1,2	— 0,8	— 0,8	— 2,8	— 2,2
Stralsund	— 1,7	— 0,7	— 0,3	— 2,0	— 1,7
Swinemünde	— 1,2	— 0,2	+ 1,2	— 1,1	— 2,7
Colbergermünde . .	— 1,3	+ 0,7	+ 0,3	— 2,8	— 3,4
Rügenwaldermünde .	— 1,1	+ 0,9	+ 0,4	— 3,3	— 3,8
Stolpmünde	+ 0,9	+ 2,9	+ 0,8	— 3,5	— 4,8
Neufahrwasser . . .	— 1,8	+ 0,3	+ 0,4	— 3,1	— 3,5
Pillau	— 1,9	+ 0,4	+ 0,7	— 2,6	— 3,6
Memel	— 1,9	+ 0,2	+ 1,9	— 0,1	— 3,5
Im Mittel	— 1,2	+ 0,3	+ 0,5	— 2,4	— 3,2

	Juli	August	Septbr.	Octbr.	Novbr.
Wittower Posthaus .	+ 1,3	+ 1,0	+ 2,6	+ 1,2	+ 1,1
Barhöft	+ 2,1	+ 1,6	+ 2,7	+ 1,2	+ 1,3
Stralsund	+ 2,1	+ 1,3	+ 2,5	+ 1,1	+ 0,3
Swinemünde	+ 2,5	+ 2,1	+ 2,4	0,0	— 0,3
Colbergermünde . .	+ 2,2	+ 1,8	+ 2,8	+ 0,4	+ 0,5
Rügenwaldermünde .	+ 2,1	+ 1,9	+ 2,7	+ 0,6	+ 0,8
Stolpmünde	+ 1,4	+ 1,2	+ 2,1	0,0	+ 0,4
Neufahrwasser . . .	+ 3,0	+ 2,5	+ 3,0	+ 0,3	— 0,1
Pillau	+ 2,8	+ 2,3	+ 2,8	+ 0,4	— 0,1
Memel	+ 1,9	+ 1,8	+ 2,3	+ 0,8	+ 0,9
Im Mittel	+ 2,1	+ 1,7	+ 2,6	+ 0,6	+ 0,5

Die große Uebereinstimmung dieser Resultate bei allen Orten, die, wie bereits erwähnt, selbst in den einzelnen Jahren sich wiederfindet, zeigt unverkennbar, daß an der ganzen deutschen Ostsee-Küste und wahrscheinlich in der ganzen Ostsee der Wasserstand im Laufe jedes Jahres sehr bedeutend, nämlich um 6 Zoll wechselt. Am tiefsten sinkt er im Mai herab und am höchsten erhebt er sich im September. Es liegt sehr nahe, eine gewisse Beziehung zwischen dem Wasserstande und der Erwärmung des Seewassers anzunehmen, doch dürfte dabei die Nordsee als der normirende Recipient angesehen werden, der dasselbe Wasser und dasselbe Wasser von gleicher Dichtigkeit dauernd behält. Eine Ausgleichung kann vielmehr erst im Atlantischen Ocean

wurden, woselbst in Folge der kräftigen Meeresströmungen die Temperatur-Wechsel viel mässiger bleiben. Nichts desto weniger ist die Erscheinung unzweifelhaft noch durch andere Verhältnisse bedingt. Die höheren Wasserstände im Februar und März und namentlich im Juli lassen vermuthen, daß auch die Ergiebigkeit der einmündenden Flüsse auf sie grossen Einfluß ausübt. Endlich tragen auch die in gewissen Perioden eintretenden Winde und Stürme, welche das Wasser theils in die Nordsee, und theils aus dieser zurück in die Ostsee treiben, wahrscheinlich wesentlich mit bei, um die regelmässig wiederkehrenden Anschwellungen und Senkungen zu veranlassen.

Es mag hier noch erwähnt werden, daß eine ähnliche Beobachtungsreihe auch für das Mittelländische Meer durch Aimé bekannt gemacht ist,*) die sich freilich allein auf den Jahrgang 1843 bezieht. Die mittleren Wasserstände der einzelnen Monate hoben oder senkten sich gegen den mittleren Wasserstand dieses Jahres um

Januar . . .	— 1,00 Rhl. Zoll	Juli . . .	— 2,53 Rhl. Zoll
Februar . .	+ 2,07 - -	August . .	+ 0,92 - -
März . . .	— 2,53 - -	September .	+ 0,92 - -
April . . .	— 2,53 - -	October . .	+ 3,22 - -
Mai . . .	— 2,91 - -	November .	+ 5,14 - -
Juni . . .	— 1,76 - -	December .	+ 0,92 - -

Wenn diese Angaben von den für die Ostsee gefundenen nicht erheblich abweichen, so ist dennoch eine gewisse Analogie dazwischen nicht zu verkennen.

§. 10.

Meeres-Strömungen.

Abgesehn von den Strömungen vor den Mündungen grosser Flüsse, die man zuweilen noch weit in das Meer verfolgen kann, so wie auch von denen, welche die Fluth und Ebbe namentlich vor einer inselreichen Küste veranlaßt, zeigen sich in den grossen Weltmeeren noch mächtige Strömungen, welche nicht nur auf die Uferbildung wesentlichen Einfluß haben, und beim Betriebe der Schifffahrt die höchste Beachtung fordern, sondern die auch die klimati-

*) Comtes rendus de l'Académie des sciences. 1844.

I. Erscheinungen im Meere.

den Verhältnisse der Küsten-Länder bedingen und in großen Masse eine Ausgleichung der Temperatur veranlassen. Die Ursachen ihres Entstehens sind nicht immer dieselben. Es mag zunächst von den einfacheren die Rede sein, deren Wirkungen mehr local bleiben, und nicht über große Meeresflächen sich verbreiten.

In der Straße von Gibraltar findet stets eine östliche Strömung^{*)} statt, die also aus dem Atlantischen in das Mittelländische Meer sich ergießt. Die Segelschiffe, welche das Letztere verlassen wollen, brauchen einen starken östlichen Wind, weil sie sonst den Strom nicht überwinden können, und es geschieht nicht selten, daß sie mehrere Monate liegen müssen, ehe ihnen der Durchgang möglich wird. Ganz dasselbe ist im Rothen Meere der Fall, welches gleichfalls durch die Straße Babelmandeb aus dem Indischen Ocean dauernd gespeist wird.

In das Rothe Meer, das beinahe ganz in der heißen Zone liegt, indem es sich vom 13. bis zum 30. Breitengrade erstreckt, ergießt sich kein größerer Strom. Es findet daher hier ohne Zweifel eine sehr starke Verdunstung statt, und wenn es mit dem Weltmeere nicht in Verbindung stände, so würde es, wie das Todte Meer, weit unter den allgemeinen Meeresspiegel herabsinken und vielleicht ganz versiegen. Da eine solche Verbindung indessen besteht, so erklärt sich der ununterbrochene Zufluß, indem dadurch die sehr großen Wassermassen ersetzt werden, welche durch Verdunstung in die Atmosphäre treten. Diese Erklärung ist indessen in sofern bedenklich, als man wohl annehmen müßte, daß wenn seit Jahrtausenden Seewasser stets eingeströmt und nur reines Wasser diesem Meere entzogen wäre, daß alsdann die Salz-Niederschläge das ganze Becken schon angefüllt, und dasselbe in ein mächtiges Salzlager verwandelt haben müßten.

Bei dem Mittelländischen Meere sind die Verhältnisse wesentlich verschieden, indem eines Theils seine Lage schon mehr nördlich ist und außerdem auch der Nil, die Donau, die Rhone und andre sehr bedeutende Ströme dasselbe speisen. Manche Thatsachen

^{*)} Die Strömungen werden stets nach den Richtungen bezeichnet, wohin das Wasser fließt. Die Bezeichnung ist also derjenigen entgegengesetzt, welche man für die Winde gebraucht. Der östliche Strom kommt aus Westen, der östliche Wind dagegen aus Osten. Diese Bezeichnungsart ist nicht nur bei uns, sondern auch in England und Frankreich üblich.

haben hier zu einer andern Erklärung geführt und die Ursache der dauernden Einströmung sehr deutlich erkennen lassen. Schon im Jahre 1712 bemerkte der Befehlshaber eines Französischen armirten Schiffes, daß ein Niederländisches Fahrzeug, welches er auf der Höhe von Tanger versenkt hatte, kurze Zeit darauf etwa 4 Lieus westlich, also in einer Richtung, die der des sichtbaren Stromes ganz entgegengesetzt war, von den Wellen auf das Ufer geworfen wurde. Ähnliche Erfahrungen sind seitdem verschiedentlich gemacht, wenn auch diese submarine Strömung bisher noch nicht direct beobachtet ist. Am wichtigsten ist eine Untersuchung von Wollaston. Demselben wurde nämlich eine Flasche Seewasser übergeben, das etwa 50 Seemeilen westwärts von der Straße von Gibraltar und zwar in der Tiefe von 670 Faden oder 4000 Fuß geschöpft war, und in diesem Wasser betrug der Salzgehalt das Vierfache von demjenigen, der sich im Atlantischen Meere vorfindet. Hiernach leidet es keinen Zweifel, daß im Mittelländischen Meere der Salzgehalt in den verschiedenen Tiefen nicht derselbe ist, er vielmehr mit der Tiefe zunimmt, und sonach das Wasser in seinen obern Schichten specifisch leichter ist, als in den untern. Im Atlantischen Meere findet eine solche Verschiedenheit nur in geringem Maasse statt, weil hier die grossen Strömungen, von denen später die Rede sein wird, so wie auch die kräftige Fluth und Ebbe die ganze Masse mehr in Bewegung setzen und daher solche verschiedenartige Schichtung verhindern. Indem nun diese beiden Meere durch eine Oeffnung von 7 Seemeilen Breite und vielleicht 400 Fuß Tiefe mit einander verbunden sind, so kann es nicht fehlen, daß die schwerere untere Schicht nach dem Atlantischen Ocean abfließt und dadurch ein submariner mächtiger Strom entsteht. Indem dieser sehr große Wassermassen abführt und dadurch den Spiegel des Mittelländischen Meeres senkt, so erfolgt in der Nähe der Oberfläche die starke Einströmung, welche der Augenschein erkennen läßt. Letztere erklärt sich also selbst in dem Falle, daß die Verdunstung durch die Ergebigkeit der Zuflüsse aus den umgebenden Küsten-Ländern vollständig gedeckt werden sollte. Ähnliche Verhältnisse sind auch an der Mündung des Rothen Meeres sehr wahrscheinlich.

Eine andre wichtige Strömung; der Aequatorial-Strom, durch die Drehung der Erde veranlaßt, findet in der heißen Zone oder zwischen den Wendekreisen statt. Er bewegt das Wasser von

Osten nach Westen mit der mässigen Geschwindigkeit von etwa 10 Seemeilen oder $2\frac{1}{4}$ Deutschen Meilen in 24 Stunden. Schon Columbus bemerkte ihn auf seiner dritten Reise. Sein Zusammenhang mit den Passatwinden steht wohl ausser Zweifel, ob er aber durch diese, also nur durch Adhäsion der Luft, verursacht wird, oder ob dieselbe Ursache beide Strömungen erregt, ist nicht entschieden. Luft wie Wasser strömen vielfach aus höheren Breiten dem Aequator zu. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde ist hier aber grösser, als in den höheren Breiten. Luft und Wasser kommen daher mit Geschwindigkeiten an, die denen der Erde noch nicht entsprechen, und drehen sich folglich minder schnell um die Achse der Erde, als die Erde selbst, oder sie bewegen sich vergleichungsweise gegen die feste Masse der Oberfläche von Osten nach Westen.

Von viel grösserer Bedeutung sind diejenigen Strömungen in den grossen Meeren, die vollständige Kreisläufe beschreiben, sehr verschiedene Breiten-Grade berühren und den wesentlichsten Einfluss auf die Ausgleichung der Temperaturen ausüben. Der bekannteste und vielleicht der bedeutendste unter diesen ist der Golfstrom, der im Mexicanischen Meerbusen seinen Anfang nimmt, längs der östlichen Küste von Nordamerika bis gegen Neufundland sich hinzieht und sich von hier ostwärts wendet. Boston gegenüber hat er die Breite von 80 Seemeilen und seine Geschwindigkeit misst stellenweise mehr als 4 Knoten,*) oder über eine geographische Meile

*) Die Seemeile entspricht einer Minute des Meridian-Kreises, sie ist daher dem vierten Theile einer geographischen oder Deutschen Meile gleich und annähernd auch gleich dem vierten Theile einer Preussischen Meile oder 500 Ruthen lang. Der Seemann misst die Fahrt oder die Geschwindigkeit seines Schiffes mit dem Log, das nach seiner gewöhnlichen, auch jetzt noch allgemein üblichen Einrichtung im zweiten Theile dieses Handbuches §. 62 beschrieben und Fig. 75 dargestellt ist. Die Leine, woran das Log hängt, ist mit numerirten Knoten versehen, die 50 Fufs von einander entfernt sind. Der erste Knoten ist aber in solchem Abstände vom Log angebracht, dass letzteres der unmittelbaren Einwirkung der Bewegung des Schiffes nicht mehr ausgesetzt ist, sobald dieser Knoten durch die Hand des Matrosen gleitet. In dem Augenblicke, wenn dieses geschieht, kehrt der Schiffsjunge, der daneben steht und die Sanduhr hält, die letztere um, so dass nunmehr die Zeitmessung beginnt. Die Sanduhr läuft in einer halben Minute ab, und die Anzahl der Knoten, die während dieser Zeit durch die Hand des Matrosen laufen, bezeichnen die Fahrt des Schiffes. Der Matrose hält aber beim Ablauf der Uhr die Leine sogleich fest, und kann so nach auch halbe und Viertel Knoten ablesen. Die Anzahl der Knoten mit 50 multiplicirt giebt den Weg an, den das Schiff in einer halben Minute macht,

in der Stunde. Weiter nordwärts wird er schwächer, indem er sich zugleich erweitert oder an Breite zunimmt. Es ergiebt sich hieraus, welchen wesentlichen Einfluß er auf die höchst frequente Schifffahrt zwischen Europa und Nord-Amerika haben muß. Schiffe, die nicht gerade zum Schnellsegeln eingerichtet sind, können nur bei günstigem und frischem Winde gegen ihn aufkommen, sonst werden sie mit ihm fortgerissen, und indem die ganze Wassermasse um sie in gleicher Bewegung ist und die Ufer meist viel zu weit entfernt sind, um noch gesehen zu werden, so bemerken die Schiffer gar nicht die starke Strömung, von der sie in ganz andrer Richtung, als sie zu fahren glauben, fortgerissen werden. Noch im Anfange dieses Jahrhunderts war es allgemein üblich, daß Schiffe, die von Europa aus nach Newyork, Boston und andern Häfen bestimmt waren, mit Rücksicht auf diesen Strom nicht den directen Weg einschlugen, vielmehr südwärts fuhren, bis sie hinter den Canarischen Inseln den Passatwind erreichten, der sie nach den Westindischen Inseln und endlich in den Golfstrom brachte. Mit diesem trieben sie alsdann soweit nordwärts, bis sie ihren Bestimmungsort erreichten. Dieser Vorsicht unerachtet gehörte es dennoch nicht zu den Seltenheiten, daß sie vom Strome zu weit getrieben wurden, und daß alsdann nichts übrig blieb, als dem Strome noch weiter bis in die Nähe von Irland zu folgen und den ganzen Weg nochmals zu machen.

Indem die Wassermasse, welche das Schiff umgiebt, dieselbe Bewegung hat, so ist letztere durch das Log nicht zu erkennen, eben so wenig ist es aber auch möglich, das Schiff mit Ankern am Grunde des Meeres festzuhalten, weil die Tiefe viel zu groß ist. Man hatte jedoch schon früher bemerkt, daß die Strömung, wenigstens stellenweise, nicht bis zu unerreichbaren Tiefen sich fortsetzte, und daß daher kleine Böte, wenn von solchen aus recht große bewehrte Kessel tief herabgelassen wurden, sehr heftig gegen den Strom trieben, also mehr oder weniger dem Einflusse desselben entzogen wurden. Im Allgemeinen liefs sich die Richtung und Stärke des Stromes nur aus astronomischen Beobachtungen erkennen, indem

diese Länge mit 120 multiplicirt bezeichnet den in einer Stunde zurückgelegten Weg, und jeder einzelne Knoten entspricht alsdann dem Wege von 6000 Fuß oder einer Seemeile. So giebt die Anzahl der Knoten unmittelbar an, wieviel Seemeilen das Schiff in einer Stunde durchläuft.

der Weg, den das Schiff nach den letzteren, also wirklich zurückgelegt hatte, mit dem Wege verglichen wurde, den das Besteck, also der Compas und das Log ergab. Hierdurch war die Strömung nach ihrer Richtung und Stärke, die sie an verschiedenen Stellen hat, bekannt geworden und dem Schiffer das Mittel geboten, derselben in der passendsten Weise sich zu entziehen, oder sie zu benutzen.

Der Schiffer kann indessen noch in andrer Weise sicher erkennen, ob er in diesem Strome sich befindet, und hierzu dient das Thermometer. Der Strom, der das stark erwärmte Wasser aus dem Mexicanischen Meerbusen nordwärts führt, hat eine bedeutend höhere Temperatur, als das umgebende Seewasser. Es kommt also nur darauf an, die Temperatur des Wassers oft zu messen, so ergibt sich leicht, ob das Schiff bereits in den Strom getreten ist. Außerdem giebt auch schon die äußere Erscheinung der Oberfläche sehr auffallend den Strom und zuweilen sogar seine scharfe Begrenzung zu erkennen, so daß man häufig mit voller Sicherheit wahrnehmen kann, daß das Schiff in ihn einfährt. Das Wasser des Stromes ist wegen des stärkeren Salzgehaltes, ohnerachtet seiner vollkommenen Klarheit dunkelblau gefärbt, und die darauf schwimmenden Körper werden aus dem Strome nach seinen Ufern, also nach dem stehenden Wasser daneben getrieben, woher bei ruhiger Witterung die Begrenzung sich durch einen mehr oder minder breiten Streif von schwimmenden Gräsern u. d. gl. markirt. Diese Erscheinung ist leicht erklärlich. Wie in einem Glase mit warmem Wasser, das man in ein kaltes Zimmer stellt, die Abkühlung in der Oberfläche und an den Seitenwänden beginnt, und neben den letzteren das kältere und folglich schwerere Wasser herabsinkt, während das wärmere in der Achse des Glases ansteigt, wodurch eine Strömung entsteht, die in der Oberfläche von der Mitte aus nach den Rändern gerichtet ist, so geschieht dieses auch in der Wassermasse des Golfstromes, und alle darauf schwimmenden Gegenstände werden nach seinen beiderseitigen Rändern hingetrieben. Man hat die Erscheinung mit dem Verhalten von schweren Körpern verglichen, die auf dachförmig gegen einander gelehnte Flächen geworfen werden, und nach der einen oder der andern Seite herabrollen.

Ich gehe nunmehr zur nähern Bezeichnung dieses Stromes über, indem ich für den Haupttheil desselben, der sich längs der Küste

rd-Amerika hinzieht, die bei Gelegenheit der Küsten-Ver-
gemachten Beobachtungen benutze.*) In dem Mexicani-
eerbusen beginnt der Strom, woselbst in Folge der erwähn-
atorial-Strömung das Wasser sich anhäuft, das bei zuneh-
Erwärmung noch um so höher anschwillt. Es findet seinen
n der Bahama-Straße, indem es zwischen der gleichnami-
l und der Halbinsel Florida hinaustritt. Anfangs strömt
nordwärts, indem es von der zurücktretenden Küste von
bis 100 Seemeilen entfernt bleibt. Der Strom ist zunächst
50 Seemeilen breit, und hier hat er die größte Geschwin-
die bis 5 Knoten, also $1\frac{1}{4}$ Deutsche Meile in der Stunde be-
ängs Süd- und Nord-Carolina ist er parallel zur Küste, da-
östlich gerichtet. Er verbreitet sich hier aber sehr stark,
n Theil des Wassers schon unter dem 30. Breitengrade sich
h Osten wendet. Dem Cap Hatteras gegenüber, in Nord-
, beträgt seine Breite schon 450 Seemeilen, doch ist in der-
ie Strömung nicht überall gleich stark, vielmehr befinden
in drei tiefere Schläuche, die mehr oder minder ostwärts
sind, und in welchen sowohl die Geschwindigkeit, als die
tur viel bedeutender sind, wie in den zwischenliegenden
ächen. Unter den verschiedenen Messungen der Wärme des
mag eine angeführt werden, die etwas weiter nordwärts,
unter dem 36. Breitengrade angestellt ist. Die Temperatur
oberfläche des Stromes war $23\frac{1}{4}$ Grade Réaumur, in 100 Fa-
e $17\frac{1}{4}$, in 200 Faden 15, in 300 Faden $13\frac{1}{4}$, in 400 Faden
in 500 Faden oder in der Tiefe von 3000 Fuß $8\frac{1}{2}$ Grade R.
ende Wasser zur Seite hatte zwar im Meeresspiegel die
mperatur von $22\frac{1}{4}$ Graden, indem wahrscheinlich die er-
Oberfläche des Stromes seitwärts überfloß, in der Tiefe von
n zeigte das Thermometer aber nur noch 8 und bei 500 Fa-
3 Grade.

Strom tritt demnächst, indem er immer schwächer wird,
ie Bank von Neufundland. In seiner Oberfläche hat er noch
paratur von 17 Graden, während das Meer daneben nur etwa

L. D. Bache, lecture on the Golf Stream, prepared at the Request of the
n Association for the Advancement of Science, in Silliman's American
November 1860.

auf 8 Grade erwärmt ist. Hier wendet er sich ganz östlich und ~~zum~~ Theil sogar südöstlich nach den Azorischen Inseln. Der erste Theil erreicht die Europäische Küste, namentlich Irland, woselbst er wäh- rend des Winters die milde Temperatur veranlaßt, die im auffal- lendsten Gegensatze mit der Kälte an der Amerikanischen Küst- von Labrador steht, obwohl beide unter gleichem Breitengrade lie- gen. Hier sind die Winter viel strenger und anhaltender, als in nördlichen Deutschland, während in Irland, wie bekannt, die Myrte ein Gartengewächs ist, das keines Schutzes bedarf. Doch auch an- dre Küsten von Europa empfinden den wohlthätigen Einfluß d- Golf-Stromes. Er tritt in den Canal zwischen England und Fran- reich ein, umströmt andererseits die Hebridischen Inseln, erreicht d- Küste von Norwegen, und selbst in Nova-Zembla und Spitzberg wird die Temperatur durch ihn gemildert.

Derjenige Theil des Golf-Stromes, der sich vor der Bank v- Neufundland südöstlich nach den Azoren wendet, oder schon früh diese Richtung annahm, streicht den Canarischen und Cap-Ver- schen Inseln vorbei und tritt hier in die bereits erwähnte Aequa- rial-Strömung wieder ein, die ihn aufs Neue dem Mexicanisch- Meerbusen zuführt. So bildet sich zwischen Nord- und Süd-Ameri- und Africa mitten im Atlantischen Ocean ein vollständiger Kre- lauf des Wassers, und in der Mitte desselben, wo die Bewegu- fast ganz aufhört, ist die Oberfläche in einer Ausdehnung, die v- von ganz Europa nahe gleichkommt, mit schwimmendem See-Ta- bedeckt, die ihr das Ansehn einer Wiese giebt. Diese Stelle nen- net man das Sargasso-Meer.

Fragt man nach der Ursache, weshalb der Golfstrom v- der Küste von Nord-Amerika sich ostwärts wendet, so ist die A- wort dafür von A. v. Humboldt gegeben und dieselbe findet au- auf die übrigen Meeres-Strömungen entweder unmittelbar oder entgegengesetzten Sinne Anwendung. Das Wasser, welches im G- von Mexico sich ansammelt, hat hier beinahe die hohe Umdrehung- Geschwindigkeit der Erde, die dem 24. Breitengrade entspricht, a- genommen. Indem es von hier nordwärts fließt, gelangt es in h- here Breiten, wo die Umdrehungs-Geschwindigkeit der Erd-Obe- fläche geringer wird. Diese ist auf der Bank von Neufundland b- deutend kleiner, als im Mexicanischen Meerbusen, beide verhält- sich zu einander etwa wie 9 zu 7. Das Wasser eilt daher

nördlicher Richtung der Erde voran, oder der Strom wendet sich wärts.

Einem wesentlichen Einfluß auf alle diese Strömungen übt außerdem die verschiedene Erwärmung des Wassers aus. Zwei Wassermassen, von denen eine stärker erwärmt und daher specifisch leichter ist, als die andere, können in freier Berührung sich nicht im Gleichgewicht halten. Wären sie durch eine Scheidewand von einander getrennt, die nur am Boden mit einer Oeffnung versehen ist, so könnte, von der Mittheilung der Wärme abgesehen, das Gleichgewicht eintreten, indem die wärmere Masse einen höheren Stand einnimmt, also vor der Oeffnung auf beiden Seiten ein gleicher Druck sich darstellt. Sobald aber die Scheidewand entfernt, oder die Verbindung in der Oberfläche dargestellt wird, so wird hier das höhere Niveau des wärmeren Wassers überfließen. Ganz abgesehen von der Umdrehung der Erde müssen sich daher in grossen Meeren zwei Strömungen bilden, von denen der obere nach dem Pole und der untere, nahe dem Meeresgrunde, nach dem Aequator gerichtet ist. Diese beiden Strömungen werden aber ausser der nördlichen oder südlichen Richtung, die sie ursprünglich haben, in Folge der Umdrehung der Erde noch östlich oder westlich sich wenden, je nachdem sie nach dem Pole oder nach dem Aequator gerichtet sind.

Auch im Atlantischen Ocean giebt es einen solchen von Norden nach Süden gerichteten kalten Strom, der theils auf der Westseite von Grönland und theils durch die Davis-Straße eintritt, und in Folge des südlichen Laufes in den niedrigeren Breitengraden nach westwärts wendet. An der Grenze der Bank von Neufundland begegnet er dem warmen Golf-Strome und kreuzt denselben, indem er am Grunde des Meeres unter ihm fortgeht. Er führt die gewaltigen Eisberge mit sich, welche auf dem Wege zwischen Europa und Nord-Amerika so sehr gefürchtet werden. Diese tauchen so tief ein, daß sie von dem unteren kalten Strome noch mehr, als von dem oberen getrieben werden, und sich daher scheinbar mit grosser Geschwindigkeit durch das Wasser bewegen. Die Schiffe, die nur der Einwirkung des obern Stromes ausgesetzt sind, werden aber mit Heftigkeit gegen diese Eismassen getrieben, und die Gefahr des Zusammenstosses ist um so grösser, als die starke Abkühlung der Temperatur meist dichte Nebel veranlaßt, welche das anstehende Gebirge nicht erkennen lassen.

Bei der großen Ausdehnung der Schifffahrt hat man in neuerer Zeit noch mehrere ähnliche, theils warme und theils kalte Strömungen entdeckt, unter denen hier nur einer auf der südlichen Hemisphäre erwähnt werden mag, der nach seinem Entdecker der Humboldt-Strom genannt wird. Er verfolgt die westliche Küste von Südamerika vor Chili und Peru. Seine Temperatur beträgt selbst in der heißen Zone nur $12\frac{1}{2}$ Grade Réaumur, während das Meer daselbst um volle 10 Grade wärmer ist. Sein Einfluß auf das Klima der Küsten-Länder ist daher auch nicht zu verkennen. Er verläßt das Ufer nicht früher, als bis dasselbe unter dem 5. Grade südlicher Breite sich von Nord-West nach Norden wendet. Hier nimmt er die westliche Richtung an und bildet den Anfang der Aequatorial-Strömung im Stillen Ocean.

Endlich muß noch auf eine Meeres-Strömung hingewiesen werden, die, wenn sie vergleichungsweise zu den bezeichneten auch sehr geringfügig ist, und sogar häufig durch entgegenstehende Winde ganz zurückgedrängt wird, dennoch dem Preussischen Baumeister weit näher liegt, indem sie den wesentlichsten Einfluß auf die Ausbildung der Ostsee-Küste ausgeübt hat und noch ausübt. Ihre Wirkungen fordern sowol bei Hafen-Anlagen als beim Schutze der Seeufer die höchste Beachtung.

Auf der Preussischen Ostsee-Küste wiederholt sich mehrfach die Haff-Bildung. Weite Buchten, die vielleicht in frühester Zeit weniger vom Meere getrennt waren, sind durch lange schmale Landzungen, Nehrungen genannt, von demselben geschieden. Am vollständigsten zeigt sich dieses in der Provinz Ost-Preußen, wo das Frische und das Curische Haff bis auf je eine sehr schmale Oeffnung von der See getrennt sind. Auch die Bucht vor Danzig ist von der Westseite aus durch eine ähnliche Nehrung zum Theil abgeschlossen, doch tritt diese nicht bis in die Nähe des gegenüberliegenden Ufers, vielmehr läßt sie eine 5 Meilen breite Oeffnung noch frei, so daß sie, wie es scheint, nur den Anfang einer Haff-Bildung bezeichnet. Ueber die Ursache dieser auffallenden Begrenzungen des Meeres wird später bei Gelegenheit der Seeufer die Rede sein, sie werden hier nur wegen der eigenthümlichen Erscheinung erwähnt, daß alle drei Nehrungen auf der westlichen oder südwestlichen Seite sich an das feste Land anschließen und die Verbindung mit der See auf der östlichen oder nördlichen Seite statt findet.

Es aber darauf aufmerksam gemacht werden, daß dieses Maasse auch bei dem Frischen Haffe statt findet, denn die Mündung desselben von der Nordseite her eine Äbnung entgegentritt, so besteht diese doch nicht aus aufstem Sande, vielmehr aus gewachsenem Thonboden, der Entfernung von Pillau schon zu Tage liegt.

Es kommt, daß die Sand- und Kiesablagerungen vor scharfen Ufer-Ecken, wie vor Darserort, ohnfern der Mecklen-Grenze, und vor Brüsterort auf der nordwestlichen Ecke des, gleichfalls Richtungen haben, welche denen der Nehrung entsprechen.

Es ist die Voraussetzung sehr gegründet, daß bei diesen, so wie auch bei den Hacken, die übereinstimmenden Richtungen eine gemeinsame Ursache veranlaßt sind, und solche häufig eine andre sein, als die Strömung, die längs der Küste und vor dem Danziger Regierungs-Bezirk von Osten gerichtet ist, die sich von hier aber, indem sie folgt, nordwärts wendet. Der Zusammenhang zwischen Strömung und der Sandablagerung wird später nachge-
den.

dem giebt es noch vielfache Thatsachen, welche das Vor-
der bezeichneten Küstenströmung unzweifelhaft darthun.
Molene oder Molen, welche die Mündungen unserer Häfen
Seiten einschliessen, versanden an der westlichen oder
Seite stärker, und hier rückt der Strand in Folge dessen
her vor, als an der entgegengesetzten Seite. Wenn man
Witterung den ausgehenden Strom bei Pillau beachtet,
man sehr deutlich, daß er sich sogleich nordwärts wen-
alle darauf schwimmende Körper werden in derselben
getrieben. Es wird auch stets Klage geführt, daß die See-
der Nordseite von Pillau oft süßes Wasser haben, wäh-
der gegenüberliegenden Nehrung und zwar unmittelbar
Mündung des Haffes das Seewasser ganz rein ist.

Es sind diese Umstände die Existenz eines vorherrschenden Kü-
schon früher außer Zweifel stellten, so hat dieselbe noch
ende Bestätigung gefunden, die zugleich unmittelbar die
ng dieses Stromes nachweist. Im Sommer 1834 maas
von Humboldt auf einer Seereise von Swinemünde nach

Königsberg die Temperatur des Wassers. Dieselbe war bei Swinemünde $18\frac{1}{2}$ Grad Réaumur, bei Treptow $16\frac{1}{4}$ Grad, zwischen Leba und Rixhöft sank sie plötzlich auf $9\frac{1}{2}$ und sogar bis 9 Grade herab, während sie östlich von Hela wieder $17\frac{1}{4}$ Grade gefunden wurde. Die starke Abkühlung des Wassers neben der vortretenden Ufer-Ecke zwischen Leba und Rixhöft konnte natürlich nur die Folge eines hier eintretenden kalten Stromes sein, der sich wahrscheinlich in geringerem Maasse, wie die vorhergehende Beobachtung andeutet, schon weiter westlich bemerken liess. Ueber den Ursprung dieses kalten Stromes kann man nicht zweifelhaft sein, er bewegt sich längs der östlichen Küste Schwedens von Norden nach Süden, trifft, indem er zwischen den Inseln Oeland und Gottland hindurchgeht, den bezeichneten Theil der Preussischen Küste. Sein Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse hat sich seitdem auch herausgestellt, indem die mittlere Temperatur bei Neustadt merklich geringer, als an andern Beobachtungsorten in der Umgebung ist.

Die Ostsee in Verbindung mit dem Bothnischen Meerbusen streckt sich von Süden nach Norden und zwar vom 54. bis zum 66. Längengrade, ihre Ausdehnung in dieser Richtung umfasst also 12 Grade und es kann nicht fehlen, dass sehr bedeutende Temperatur-Unterschiede zwischen beiden Endpunkten statt finden. Es wird also eine südliche kalte und eine nördliche warme Strömung eintreten müssen. Die erste bewegt sich in einer Richtung, wo die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde grösser wird, sie kann derselben folgen und wird daher an das westliche Ufer der Ostsee gedrückt, die zweite dagegen gelangt in Gegenden, wo diese Geschwindigkeit geringer wird, sie eilt also der Erde voran und lehnt sich an das ostwärts belegene Ufer. Hierdurch erklärt sich nicht nur die nördliche Strömung vor Pillau und Memel, sondern auch die kalte südliche längs der Pommerschen Küste bis zur Bucht vor Danzig.

§. 11.

Meerestiefen, Salzgehalt und erdige Beimengung des Seewassers.

Mässige Tiefen des Meeres werden, wie bereits im zweiten Theile dieses Handbuches §. 60 erwähnt ist, mit dem gewöhnlichen

chen Lothe gemessen. Die Beschreibung der sehr einfachen Einrichtung desselben ist schon gegeben worden. Bei größeren Tiefen und namentlich wenn man durch die Sondirung zugleich die Beschaffenheit des Grundes erkennen will, so daß der Sand oder die Muscheln an dem Talgklumpen haften sollen, den man in die Öffnung der untern Fläche des Lothes eingestrichen hat, darf man das Letztere nicht mehr während der Fahrt auswerfen, das Schiff muß vielmehr angehalten werden, oder die Lothung erfolgt von einem Boote aus. Bei sehr großer Tiefe führt indessen auch diese Vorsicht zu keinem Resultate. Die Leine muß nämlich hinreichend stark sein, damit man an ihr das Loth wieder heben kann, sie muß auch specifisch schwerer, als das Seewasser sein, weil sie sonst bei gewisser Tiefe das weitere Herabsinken des Lothes verhindern würde. Hierdurch vermehrt sich nach und nach das Gewicht, welches der letzte Theil der Leine zu tragen hat, so sehr, daß diese endlich zerreißt. Namentlich geschieht dieses, wenn das Loth an sich schon ein bedeutendes Gewicht hat, ein solches ist aber nothwendig, weil es sonst nicht schnell genug herabsinken, vielmehr der Faden durch die Strömungen, die er in den verschiedenen Wassertiefen antrifft, seitwärts ausgezogen werden würde. Indem man früher stets der Ansicht folgte, daß an der Leine das ganze, schwere Loth wieder gehoben werden müsse, und daher diesem das nöthige Gewicht nicht gegeben wurde, so ist vielfach der Irrthum vorgekommen, daß Stellen im Meere, die namentlich von heftigen Strömungen getroffen werden, unmessbar tief zu sein schienen, weil die Lothleine ihrer großen Länge unerachtet bei jedem Versuche vollständig auslief, während spätere Messungen eben daselbst doch nur sehr mäßige Tiefen ergaben, die mit jenen Leinen bald hätten erreicht werden müssen.

Der Versuch, die Leine so zu befestigen, daß sie sich von selbst vom Lothe löst, sobald dieses den Grund berührt, war in sofern sehr misslich, als nicht nur die wichtige Frage in Betreff der Beschaffenheit des Meeresgrundes alsdann ganz unbeantwortet blieb, sondern außerdem war es auch jedesmal zweifelhaft, ob das Loth wirklich den Boden erreicht, oder ob vielleicht in Folge anderer Zufälligkeiten es sich von der Leine gelöst hatte.

Die Einrichtung, welche man gegenwärtig meist als die zweckmäßigste zur Messung großer Wassertiefen ansieht, ist der von

Brooke angegebene Apparat. Er beruht darauf, daß der übergewiegend größte Theil des Gewichtes sich vom Lothe sobald dieses auf den Grund stößt, der übrig bleibende Theil desselben bleibt aber an der Leine befestigt und bringt Proben des Bodens mit herauf, die daran haften, oder auch durch besondere Vorrichtungen davon gefaßt werden. Fig. 25 diesen Apparat, und zwar *A* in dem Falle, daß die schwere Kugel daran noch hängt, also während des Herablassens, und *B* die Stellung, die er annimmt, wenn das Loth in den Boden eintritt und die Kugel sich bereits gelöst hat. Die massive eiserne Kugel ist nach Maafsgabe der erwarteten Tiefe 30 bis 60 Pfund schwer. Sie ist diametral durchbohrt, und das Loth, das aus einer Eisenstange besteht, und unten mit der Oeffnung zum Einstecken des Talges versehen ist, reicht durch die Kugel hindurch und soviel Spielraum, daß es ohne Hinderniß aus derselben herausgezogen werden kann. An zwei beweglichen Armen ist es mit der Leine verbunden. Diese Arme sind aber noch mit zwei Nebenarmen versehen, auf welche Ringe aufgezogen werden, welche aus zwei kurzen Leinen einen eisernen Ring tragen, auf dem die Kugel während des Herabsinkens ruht. Sobald der aus der Kugel vortretende untere Theil des Lothes auf den Boden aufstößt, wird die Lothleine schlaff, so zieht die schwere Kugel die Arme herab, und dadurch verlieren die auf die Nebenarme gesetzten Ringe ihre Unterstützung, sie fallen nieder und mit ihnen gleich die Kugel. Windet man nunmehr die Leine auf, so zieht sich das Loth durch die Kugel hindurch und folgt der Leine, während die Kugel auf dem Meeresgrunde liegen bleibt.

Man hat versucht, statt der gewöhnlichen Lothleinen Schnüre, auch Eisendrähte zu benutzen, doch ist man zu dem ersten wieder zurückgekehrt. Man verfertigt dieselben in sehr verschiedenen Längen, so daß sie zuweilen zwei Deutsche Meilen lang sind, dennoch giebt es im Atlantischen Meere manche Stellen, wo selbst mit diesen keinen Grund erreicht hat. Maury meint, die tiefste Stelle zwischen dem 35. und 40. Grade nördlicher Breite, zwar im Süden der Bank von Neufundland sich befinde.*)

Daß auch beim Gebrauche dieses Lothes Täuschungen

*) The physical geography of the Sea. Cap. XII.

möglich sind, unterliegt keinem Zweifel. Die Leine darf nicht ganz schlaff nachgelassen werden, vielmehr muß sie durch das Gewicht immer einigermaßen gespannt bleiben, weil man sonst nicht unterscheiden kann, in welcher Tiefe das Loth den Grund erreicht. Nachdem Letzteres erfolgt ist, wird wieder die Leine von den Strömungen gefaßt und indem sie seitwärts treibt, so zieht sie sich in ähnlicher Weise aus, als wenn das Loth noch frei herabsänke. Eini-germaßen kann man freilich aus der Gleichförmigkeit der Bewegung auf das dauernde Sinken des Lothes schließen, indem man die Zeit des Vorüberganges jedes Knotens beobachtet. Diese Knoten sind in Abständen von 100 Faden angebracht. Nach Maury's Mittheilung sinkt das Loth mit zunehmender Geschwindigkeit herab, so daß es anfangs viel langsamer fällt als später, was wegen der zunehmenden Reibung des Fadens gegen das Wasser unerklärlich scheint.

Ein anderes Instrument, das bei den Tiefenmessungen vor der Amerikanischen Küste noch in neuster Zeit benutzt wurde, stimmt wesentlich mit dem längst bekannten Patent-Lothe überein. Das Instrument ist in einen flachen und breiten Behälter eingeschlossen, damit es beim Herabsinken keine drehende Bewegung annimmt. Aus dem obern Theile ragt eine Achse heraus, an der sich mehrere schraubenförmig gekrümmte Flächen oder Flügel befinden, die beim Niederfallen des Instrumentes sich umdrehn und, wie beim Woltman'schen Flügel, mehrere Zeiger in Bewegung setzen, welche die Anzahl der Umdrehungen jener Achse angeben. Am untern Ende ist eine Scheibe angebracht, die, sobald sie den Meeresgrund berührt, das erste Getriebe ausrückt, so daß beim Wiederaufziehen des Instrumentes keine weitere Bewegung markirt wird. Saxton hat noch die Aenderung eingeführt, daß aus der obern Fläche zwei Flügelwellen heraustreten, die sich in entgegengesetzten Richtungen mit gleichen Geschwindigkeiten drehen. Hierdurch wird die Drehung des ganzen Instrumentes, die demselben durch den einzelnen Flügel mitgetheilt werden könnte, vollständig aufgehoben.

Dieses Instrument hat ohne Zweifel manche Vorzüge vor dem obigen Lothe. Beim Herabsinken behält es seine aufrechte Stellung, wofür theils durch angemessene Vertheilung der Gewichte gesorgt werden kann, und theils geschieht dieses auch schon, indem die lange Leine specifisch leichter ist und eine bedeutende Reibung

im Wasser erfährt. In Folge dieser Stellung hängt die Drehung der Flügelwellen allein von dem Wege ab, der in vertikaler Richtung zurückgelegt wird, die horizontalen Versetzungen haben darauf keinen Einfluss, und eben so wenig macht es auch einen Unterschied ob das Instrument schneller oder langsamer herabfällt. Man lässt es daher möglichst frei fallen, indem man große Massen Leine herabwirft. Ein Uebelstand ist nur, dass es wegen seines Gewichtes eine starke Leine zum Aufholen nöthig macht, und daher bei den größten Tiefen kaum noch zu gebrauchen sein dürfte. Außerdem ist es schwierig, dabei die Vorrichtung zum Auffangen von Proben des Grundes anzubringen.

Das gewöhnliche Loth ist am Boden mit einer Oeffnung versehen, die sich nach innen erweitert, damit der Talgklumpen, den man einstreicht, darin fest haftet. Man lässt diesen Klumpen etwa 3 Linien weit vor den umgebenden Rand vortreten, damit er scharf auf den Grund des Meeres aufsetzt und kleinere Körper sich darin eindrücken und daran haften. Sand, Kies, kleine Muscheln u. d. gl. werden auf diese Art gefasst und heraufgezogen. Ein harter Felsboden und größere Steine lassen aber Eindrücke zurück, die ziemlich sicher auf die berührte Oberfläche schließen lassen. Nur feiner Thonboden giebt sich in dem Talgklumpen wenig zu erkennen, indem dieser beim Einsinken in weichen Schlamm seine Form beinahe gar nicht verändert, auch nur selten einzelne Körner des letzteren daran haften.

Um in dieser Beziehung größere Sicherheit zu erreichen, und um zugleich nicht gar zu kleine Proben des Grundes zu erhalten, hat man mehrfach und namentlich bei dem vorstehend beschriebenen Lothe von Brooke den eisernen Cylinder in seinem untern Ende auf eine gewisse Länge ausgebohrt und einen Ring eingesetzt, durch den ein Ventil von starkem Leder aufschlägt. Wenn die Röhre alsdann weit genug eindringt, und das Ventil sich wieder hinreichend dicht schließt, so werden bei feinem Seeboden größere Massen eingeschlossen und zu Tage gefördert.

Eine nähere Mittheilung der an einzelnen Stellen der großen Meere gemessenen Tiefen erscheint entbehrlich, nachdem die äußersten Grenzen bereits als unerreichbar mittelst der bisher bekannten Methoden bezeichnet sind. Es muß aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Messungen, welche vor der Versenkung

des Telegraphen-Cabels zwischen Europa und Nord-Amerika ausgeführt waren, sich später als ganz unrichtig erwiesen. Das Plateau, das nach Maury's Untersuchungen hier vorhanden sein sollte, und das vorzugsweise zum Auflager für das Cabel geeignet erschien, existirte gar nicht. Sonach berechtigen sich wohl einige Zweifel gegen die Resultate ähnlicher Untersuchungen.

Das specifische Gewicht und der Salzgehalt des Seewassers ist vielfach gemessen worden. In der heißen Zone scheinen beide etwas gröfser, als in den höheren Breiten zu sein. Die Untersuchungen von Lenz,*) nach den auf der Reise von O. von Kotzebue angestellten Messungen, ergeben, dafs im Atlantischen Meere das specifische Gewicht des Seewassers etwas gröfser ist, als im Stillen Ocean, und dafs in beiden an gewissen Stellen Maxima vorkommen. Ein solches erreicht im Stillen Ocean nur das specifische Gewicht von 1,0280, während es im Atlantischen Meere bis auf 1,0285 steigt. Im letzteren wurde es bei 50° 25' nördlicher Breite 1,0266 gemessen und dieses war das Minimum, das auf der unzen Reise gefunden wurde. Die Differenzen sind sonach nicht bedeutend, doch zeigten sich sehr auffallende Abweichungen bei gleichen Breiten nach den verschiedenen geographischen Längen, und namentlich hatte im Atlantischen Ocean das Wasser in der Nähe der Amerikanischen Küste ein gröfseres specifisches Gewicht, als weiter ostwärts. Ausserdem ergaben sich auch an denselben Stellen merkliche Differenzen, je nachdem die Jahreszeiten verschieden waren. Wichtig ist ferner das Resultat, dafs in den niedrigeren Breiten und zwar bis zum 45. Grade, der Salzgehalt in verschiedenen Tiefen derselbe bleibt. Das specifische Gewicht des Wassers der Oberfläche unterschied sich nicht von demjenigen des Wassers, welches in 1000 Faden Tiefe geschöpft war.

Im Mittelländischen Meere ist der Salzgehalt in der Nähe der Oberfläche dem des Atlantischen Meeres nahe gleich, in gröfser Tiefe dagegen viel bedeutender. Wollaston fand in dem ohnfern der Strasse von Gibraltar bei 4000 Fufs Tiefe geschöpften Wasser einen Salzgehalt 17½ Procent. Das specifische Gewicht des Nordseewassers stimmt mit dem des Atlantischen Oceans ziemlich überein. Im Busen der Jade maafs ich dasselbe bei 8 Graden Réaumur, nach-

*) Poggendorff's Annalen. Band 20.

dem das Wasser in verschlossenen Gefäßen durch Filtriren von dem erdigen Theilen gereinigt war. Dieses Gewicht variirte zwischen 1,0240 und 1,0233, und es erreichte etwa eine Stunde vor Hochwasser sein Maximum, was vielleicht davon herrührt, daß alsdann das reinste Seewasser eingetreten war. Nichts desto weniger darf man wohl annehmen, daß in dieser Gegend, wo Elbe und Weser in geringer Entfernung ausmünden, die Nordsee noch mit Flußwasser versetzt ist.

In der Ostsee ist der Salzgehalt viel geringer. Das specifische Gewicht des Seewassers, vor Colbergermünde geschöpft und zwar an einer Stelle, woselbst das Wasser der Persante nicht hinzutreten konnte, fand ich nur 1,0061.

Was die Zusammensetzung des Seewassers betrifft, so bildet das Kochsalz oder Chlor-Natrium den Hauptbestandtheil der Beimengung. Im Atlantischen und Stillen Ocean, so wie auch in der Nordsee beträgt dasselbe dem Gewichte nach etwa $2\frac{1}{2}$ Procent des Wassers. Außerdem finden sich darin Chlormagnesium, Chlorkalium, schwefelsaurer Kalk, schwefelsaure Magnesie und andre Stoffe, die zusammen jedoch nur selten 1 Procent ausmachen.

Die Apparate, deren man sich bedient hat, um zu vorstehendem Zwecke das Wasser aus größeren Tiefen zu schöpfen, übergehe ich, dagegen mag die einfache Vorrichtung hier erwähnt werden, die ich benutzte, um in verschiedenen mäßigen Tiefen des Jade-Busens das Wasser zu entnehmen, indem ich den Schlickgehalt desselben in den verschiedenen Perioden der Fluth und Ebbe zu bestimmen versuchte.*)

Das Instrument ist Fig. 26, *A* in der Seitenansicht und *B* im Durchschnitt dargestellt. Es besteht aus einem Blechcylinder, der nach Maaßgabe der Quantitäten, die ich untersuchen wollte, etwa 8 Zoll hoch war und 4 Zoll im Durchmesser hatte. Derselbe war oben wie unten mit einem festen Boden versehen, der untere war vollständig geschlossen, der obere dagegen hatte eine Oeffnung, gegen welche an der innern Seite ein Ventil sich legte. Die Achse dieses Ventils war oben wie unten durch einen Steg hindurch geführt, so daß es sich nicht seitwärts verschieben konnte. Der obere

*) Monatsberichte der Königl. Academie der Wissenschaften zu Berlin. 1856. Seite 346 ff.

ldete einen starken Bügel, an den eine Spiralfeder befestigt
elche die Achse des Ventils herabzog, dasselbe also öffnete.
obern Ende dieser Achse, woran sich ein Ring befand, hing
ze Apparat, und ein zweiter Ring war an den untern Bo-
gelöthet. In letzteren wurde die Leine geknüpft, die das Ge-
ug, welches den Cylinder versenkte. Beim Gebrauch des
entes wurde zunächst das Gewicht in solcher Tiefe ange-
als das Wasser über dem Grunde geschöpft werden sollte.
an nun das Instrument herab, so hing dasselbe an der Achse
tils und dieses verschloß die obere Oeffnung des mit Luft
Cylinders. Sobald indessen das Gewicht sich auf den
auflegte, so wurde die obere Leine schlaff, die Feder öffnete
til, und durch die Oeffnung, die stets nach oben gekehrt
ntwich die im Cylinder enthaltene Luft und derselbe füllte
: Wasser. Zog man endlich das Instrument wieder herauf,
die Leine sogleich das Ventil, verschloß dadurch die Oeff-
nd eine Vermengung des Inhaltes mit den obern Wasser-
n konnte nicht eintreten.

s Seewasser enthält im Allgemeinen keine erdigen Theilchen,
dasselbe trüben, weil diese, wenn sie auch beim Abbruche
r oder durch Ströme ihm zugeführt werden, in solcher Tiefe
blagen, daß sie durch den Wellenschlag nicht wieder in Be-
gesetzt und gehoben werden können. Anders verhält es
loch in Buchten und solchen Meerestheilen, vor denen in
: Tiefe große Flächen alten Landes liegen. Auf diese wirkt
er Wellenschlag, als die Strömung der Ebbe und besonders
th ein, und die erdigen Theilchen vermengen sich so stark
: Seewasser, daß dieses durch sie vollständig getrübt wird.
lagen nieder, sobald die Bewegung des Wassers aufhört oder
fsigt, und sie sind es, welche die starken Verschlammungen
elbst belegenen Häfen und das Anwachsen des Landes ver-
n. Die Kenntniß der im Wasser schwebenden Theilchen ist
ür den Baumeister von großer Wichtigkeit.

t dem bezeichneten Instrumente wurde wiederholentlich wäh-
oller Fluthperioden von Stunde zu Stunde und zwar theils
Oberfläche und theils 6 Fuß über dem Boden Wasser ge-

Die Tiefe maafs an dieser Stelle bei Niedrigwasser etwa
. Zunächst versuchte ich, den Schlickgehalt aus dem speci-

fischen Gewichte des Wassers zu bestimmen, doch gelangte ich dabei zu keinen brauchbaren Resultaten, weil die Erdmasse zu klein war. Es mußte demnach das gewöhnliche Verfahren gewählt werden, wobei das Wasser filtrirt und der im Filtrum bleibende Rückstand gewogen wird. Doch auch hierbei war grofse Vorsicht und Sorgfalt nothwendig.

Die aufgebrachten und in Flaschen gefüllten Proben hielten zwischen 10 und 25 Cubikzoll, ihr Rauminhalt wurde, nachdem ihr specifisches Gewicht ermittelt war, durch Abwägen bestimmt, und es darf kaum erwähnt werden, dafs durch starkes Schütteln vor dem Umfüllen jedesmal dafür gesorgt wurde, dafs das Wasser gleichmäfsig und zwar in demselben Maafse, wie beim Schöpfen, mit den erdigen Theilchen sich vermengte.

Die Filter, die aus demselben Papiere sämmtlich in gleicher Gröfse ausgeschnitten waren, wurden vor dem Gebrauche in lufttrockenem Zustande einzeln gewogen. Da es jedoch auf eine sehr scharfe Wiegung ankam, indem die später in den Filtern zurückbleibende Erde nie mehr, als 30, und oft sogar nur 10 Milligramme wog, so durfte nicht unbeachtet bleiben, dafs die Filter schon während des Wiegens wieder einige Feuchtigkeit aus der Luft anziehen. Um dieses zu erkennen, wurden sie zweimal gewogen und zwar das zweite Mal in umgekehrter Reihenfolge, so dafs die arithmetischen Mittel aus beiden Abwägungen jedes Filters die Gewichte von allen in einem nahe gleich trocknen Zustande darstellten. Um indessen zu erkennen, ob dieselben Filter beim spätern Wiegen, während die erdigen Theilchen sich schon darin befinden, denselben Grad von Trockenheit angenommen haben, und ob vielleicht das Salz aus ihnen noch nicht vollständig ausgelaugt ist, so wurden jedesmal noch 2 und oft sogar 3 Filter von derselben Art hinzugefügt und gleichmäfsig zwischen die übrigen vertheilt. Sie wurden nicht zum Filtriren benutzt, vielmehr liefs ich nur das bereits filtrirte Seewasser hindurchfliefsen. Bei diesen wurde also das Gewicht durch hinzukommende erdige Theilchen nicht vermehrt, und sie sollten daher beim spätern Wiegen genau dieselben Gewichte wieder zeigen, die sie anfangs gehabt hatten. War dieses nicht der Fall, so konnte man annehmen, dafs entweder die Auslaugung nicht vollständig erfolgt, oder dafs der hygroskopische Zustand der Luft gegenwärtig ein anderer, als das erste Mal, wäre, und bei der ganz übereinstim-

enden Behandlung aller Filter durfte vorausgesetzt werden, daß an die letzteren sämtlich gleiche Differenzen gegen die ersteägung zeigten, daß alsdann auch die übrigen Filter dieselbe Veränderung erfahren hatten. Die später gefundenen Gewichte der mit de gefüllten Filter konnten also hiernach berichtigt werden. Die Unterschiede waren jedesmal überaus geringfügig.

Nach Beendigung der Filtration wurden alle Filter unter sorg-tiger Beachtung ihrer Reihenfolge (da auffällige Bezeichnungen ran nicht füglich anzubringen waren) vorsichtig zusammengelegt, mit der daran haftende Schlick nicht etwa entweichen möchte, d nunmehr wurden sie in einem geräumigen Glasgefäße mit de-llirtem Wasser übergossen. Letzteres wurde nach einer Stunde ttelst eines Hebers abgezogen und durch frisches ersetzt, und die- s geschah so oft, bis das abfließende Wasser beim Verdampfen einem Löffel keinen Rückstand übrig liefs, also von Salz frei war.

Nunmehr wurden die Filter in einem kupfernen Gefäße ge-ocknet, welches durch Wasserdämpfe erwärmt, keine höhere Tem-ratur als die des siedenden Wassers annehmen konnte. Endlich urden die Filter wieder zweimal und zwar das zweite Mal in um-kehrter Reihenfolge gewogen, und dadurch ergaben die Differen-n gegen die früheren Gewichte, die Gewichte der in den Filtern ufgefangenen Schlickmassen.

Von den Gewichten mußte endlich zum Rauminhalte überge-ungen werden, weil es darauf ankam, die Höhe der Aufschlickung i ermitteln, die im Laufe eines Jahres erfolgen konnte. Dieser ebergang erforderte eine gewisse Voraussetzung über die Cons-enz des abgelagerten Schlicks. Derselbe zeigt nämlich im natür-:hen Zustande sehr verschiedenartige Beimengungen von Wasser. ine oberen Schichten sind dünnflüssig, weiter abwärts werden sie ichter und fester und nehmen in der Tiefe sogar eine sehr große ärte an. Mit Rücksicht auf den Zweck der Untersuchung schien s angemessen, eine breiartige Consistenz zum Grunde zu legen, erjenigen gleich, welche der Töpfer beim Verarbeiten des Thones ählt. Es ergab sich aus mehrfach wiederholten Messungen, daß 1 Gramm lufttrockener Schlick, der also denselben Grad der Trocken-heit, wie die Filter beim Wiegen hatte, durch angemessnen Zusatz von filtrirtem Seewasser in solchem breiartigen Zustande ein Volum von 0,05263 Rheinländischen Cubikzollen einnimmt.

In der nachstehenden Tabelle sind die Resultate dieser Untersuchung angegeben. Das in den verschiedenen Stunden der ganzen Fluthperiode sowol in der Oberfläche, als 6 Fufs über dem Grunde geschöpfte Seewasser enthält diejenige Quantität erdiger Theilchen, welche die Tabelle angiebt. Diese Zahlen bezeichnen das Raum-Verhältniß derselben, wenn sie jene breiartige Consistenz angenommen haben, zum Volum der Wassermasse, worin sie schwebten. Diese Zahlen geben daher auch unmittelbar die Höhen des Niederschlages an, der aus einer Wasserschicht von 1 Fufs Höhe sich abscheidet, während die vollständige Klärung erfolgt, und zwar sind die Höhen in derselben Maafs-Einheit, also in Fussen ausgedrückt.

Zeit.	Schlickgehalt.	
	in der Oberfläche.	6 Fufs über d. Grunde.
Niedrigwasser . .	0,00014	0,00016
1 Stunde Fluth . .	0,00019	0,00023
2 Stunden -	0,00019	0,00026
3 - -	0,00015	0,00024
4 - -	0,00012	0,00020
5 - -	0,00011	0,00016
Hochwasser . . .	0,00010	0,00013
1 Stunde Ebbe . .	0,00010	0,00012
2 Stunden -	0,00010	0,00012
3 - -	0,00010	0,00012
4 - -	0,00012	0,00012
5 - -	0,00013	0,00013
Niedrigwasser . .	0,00014	0,00016

Der Schlickgehalt ist sonach in der Nähe des Grundes um den fünften bis dritten Theil gröfser, als an der Oberfläche. Während der Fluth ist er gröfser, als während der Ebbe, und sein Maximum erreicht er in den ersten Stunden der Fluth, wogegen er bald nach dem Hochwasser den kleinsten Werth annimmt. Letzteres rührt ohne Zweifel davon her, dafs die Wattgründe im Jade-Busen wegen der daselbst statt findenden schwächeren Bewegung nicht nur weniger angegriffen werden, sondern sogar mit einer dünnen Lage des Niederschlages sich überdecken, wodurch das Wasser etwas gereinigt wird.

Aehnliche Resultate haben sich auch für die untere Elbe aus Untersuchungen von Hübbe ergeben,^{*)} die sich auf viel ausgereichtere Messungen beziehen und große Verschiedenheiten für verschiedene Epochen nachweisen.

Die Messungen, deren Resultate vorstehend angeführt sind, wurden im Spätherbste bei ziemlich ruhiger Witterung während schwach-südlicher und östlicher Winde angestellt, wobei also das Wasser im Jade-Busen vergleichungsweise zu dem der Nordsee stärker erregt war, als bei nördlichen Winden.

Es muß noch angeführt werden, daß ich zur bequemeren Fortführung dieser Beobachtungen und um das mühsame Filtriren und Waschen zu vermeiden, einen Apparat vorrichtete, mittelst dessen der Schlickgehalt des Wassers sehr leicht, wenn auch nur annähernd bestimmt werden konnte. Ich suchte nämlich aus einer großen Anzahl cylindrischer kleiner Flaschen von reinem weißen Glase zehn Stück aus, welche gleichen Durchmesser (nahe von 3 Zoll) hatten. Sechzehn derselben füllte ich mit Mischungen von filtrirtem Seewasser und sehr feinem durch Niederschlag gewonnenen Schlick an.

Das Raumverhältniß des letzteren nach den obigen Voraussetzungen zum Wasser betrug in den einzelnen Flaschen 1005 — 0,00010 — 0,00015 u. s. w. Die Flaschen wurden aber nicht vollständig, sondern nur zu zwei Drittel ihres Inhaltes angefüllt, damit sie vor dem jedesmaligen Gebrauche stark geschüttelt werden konnten und ihr Inhalt die entsprechende Trübung vollständig annahm. Sie wurden hierauf hermetisch verschlossen. Die letzten Flaschen dienten zur Aufnahme desjenigen Wassers, dessen Schlickgehalt ermittelt werden sollte. Der Unterschied in der Trübung ist bei den geringen Abstufungen der Zusätze zwar nicht auffallend, derselbe läßt sich jedoch, wenn man bei hinreichender Beleuchtung nach dahinter befindlichen Gegenständen hinsieht, sicher erkennen, und so bietet dieser Apparat ein besseres Mittel, um aus der Trübung des Wassers auf den Schlickgehalt zu schließen.

Die hiermit angestellten Versuche ergaben, daß auch bei östlichen Winden der stärkste Schlickgehalt im Anfange der

Die hiermit angestellten Versuche ergaben, daß auch bei östlichen Winden der stärkste Schlickgehalt im Anfange der

^{*)} Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlick's. In der Zeitschrift für das Bauwesen. Jahrgang X. Seite 492 ff.

Fluth vorkommt. Nach einer Messung stellte derselbe sich bis auf 0,00035.

Aus diesen Resultaten, verbunden mit dem bekannten Steigen des Wassers in jeder Stunde der Fluth, kann man leicht die Höhe des Niederschlages berechnen, der sich im Jade-Busen oder in einem damit in Verbindung stehenden Bassin, (also etwa in einem Vorhafen) bilden würde, falls das Wasser darin sich vollständig klärte, so daß es bei der Ebbe ganz rein abfließt. Je nachdem man den Schlickgehalt des an der Oberfläche oder des über dem Boden geschöpften Wassers zum Grunde legt, ergiebt sich hieraus, daß jede Fluth eine Schicht von 0,00187 oder 0,00264 Fufs, daß also die 705 Fluthen in einem Jahre Schichten von 1,32 oder 1,86 Fufs Höhe bilden würden. In der Wirklichkeit ist indessen selbst in einem geschützten Bassin eine so starke Verflachung nicht zu besorgen, da eines Theils die Zwischenzeit zu kurz ist, um die vollständige Klärung zu bewirken, und andern Theils auch die Strömungen und die einlaufenden Wellen das Wasser nicht vollständig zur Ruhe gelangen lassen. In dem weiten Busen der Jade, wo die starke Bewegung selten aufhört, ist der Niederschlag sehr viel geringer, wie dieses auch nicht anders sein kann, da nach denselben Beobachtungen große Schlickmassen bei der Ebbe wieder herausgeführt werden.

Hierbei wäre noch zu erwähnen, daß der trockne Schlick an der Jade nach der Analyse des verstorbenen Dr. R. Hagen die nachstehenden Bestandtheile, und zwar in Procenten des Gewichtes ausgedrückt, enthält:

65,2 Kieselerde

4,2 Thonerde

6,9 Eisen- und Mangan-Oxyd

3,5 Kalkerde

1,3 Bittererde

1,4 Kali

1,5 Natron

1,4 Chlor

14,3 Wasser, Kohlensäure und organische Substanzen.

Bei Betrachtung der eigenthümlichen Erscheinungen, die sich am Meere zeigen, muß endlich noch des Einflusses gedacht werden, den die chemische Zusammensetzung des Seewassers auf die Pflanzen-

der Thierwelt ausübt, und dieses um so mehr, als beim Uferschutz und beim Hafenbau beide von der äußersten Bedeutung sind.

Die Vegetation am Meeresstrande ist wesentlich verschieden von derjenigen, die sich an den Ufern der Ströme im Binnenlande vorfindet. Soweit die Wellen beim Sturme auflaufen, geht die Weide nicht, doch finden sich hier Gräser und Kräuter, die man landeinwärts nur vereinzelt wachsen sieht, und welche zur Sicherung und weitem Ausdehnung der Sandablagerungen mit diesem Nutzen cultivirt werden können. Bei Gelegenheit des Dünenbaues wird hiervon ausführlicher die Rede sein.

Unter den Thieren, die sich in der See vorfinden, wären hier einige Arten Muscheln zu erwähnen, welche in den Fugen der Einschüttungen so wie auch der Abpflasterungen sich ansetzen und dieselben oft so vollständig füllen, daß durch sie ein sehr inniger Abfluß der Oberfläche dargestellt wird, und die Steine alsdann so locker und fest gelagert sind, daß sie von den Wellen nicht mehr weggerissen werden können.

Ein anderes Thier, der Seewurm, ist dagegen den Bauwerken höchst verderblich und zerstört das Holz so schnell und so vollständig, daß man dasselbe an manchen Orten gar nicht anwenden darf, oder wo dieses doch nöthig ist, es vollständig mit andern Stoffen verkleiden muß. Unter der Benennung Seewurm versteht man zwei einander ziemlich ähnliche Thierarten, *teredo navalis* und *limnoria terebrans*. Erstere wird am meisten gefürchtet, und kommt in der Nordsee, in dem Atlantischen Ocean und dem Mittelländischen Meere vorzugsweise vor, letztere dagegen findet sich mehr an der Englischen Küste. Auffallend ist es, daß der Wurm in früherer Zeit in Europa unbekannt war, in Holland, wo er seit hundert Jahren periodisch die größten Zerstörungen verursacht hat, zeigte er sich zuerst im Jahre 1731. Vielleicht wurde er durch Schiffe eingeführt, denn in diesen und namentlich wenn sie aus südlichen Häfen zurückkehrten, fand man schon früher sehr häufig den Wurm vor, woher das Bekleiden der Schiffe mit Kupfer auch vor dieser Zeit schon üblich war. Das Verkupfern hat aber vorzugsweise den Zweck, das Schiff vor dem Wurme zu schützen.

Der Seewurm ist, wenn er ausgewachsen ist, etwa 6 Zoll lang und so dick, wie eine starke Federpose. Er ist von weißer Farbe, ganz weich und erscheint wie eine schleimige Masse, sein Kopf

dagegen endet in eine hornartige, sehr feste und scharfe Schale, die in eine breite gekrümmte Schneide, ähnlich dem gewöhnlichen Löffelbohrer ausläuft. Sehr auffallend ist es, daß man in der äußern Oberfläche des Holzes, in dem er sich aufhält, nie Oeffnungen bemerkt, die seiner Dicke entsprechen, es befinden sich darin vielmehr nur einige sehr feine Löcher, als wenn sie mit einer Stecknadel eingestochen wären. Er muß also im Holze selbst auswachsen. Im Mittelländischen Meere nimmt er viel größere Dimensionen, als an der Nordsee an, so wurde mir in Ciotat erzählt, daß man in den dortigen Hellingen, die eben wegen des Wurmes alle zwei Jahre erneuert werden müssen, häufig Würmer von 6 Fuß Länge und in der Stärke eines Daumens vorfindet.

Nach den Wahrnehmungen an der Jade folgen die Bohrlöcher gemeinhin der Holzfaser, sie sind bis 3 Linien weit und mit einer sehr glatten und festen Kalkschale überzogen, so daß sie wie glsirt erscheinen. Sie setzen sich mehrere Fuß tief unter das Niedrigwasser fort, gehen aber nie bis zur gewöhnlichen Fluthhöhe herauf. In Holland hat man bemerkt, daß bis zu derjenigen Höhe, zu der der Klaiboden heraufreicht, das Holz stets ganz unversehrt bleibt. Diese Löcher befinden sich nun in stark angegriffenem Holz parallel neben einander und oft so nahe, daß nur die Kalkschale die Zwischenwand bildet. Eine Bootstreppe an der vorspringenden Ufer-Ecke an der Jade wurde, nachdem sie einen Sommer hindurch benutzt war, im Herbst von den Wellen zerschlagen. Das Holz der Wange hatte ganz das Ansehn der Zellen eines Bienenstocks: dicht neben einander lagen die Oeffnungen, und die Zwischenwände waren auf das geringste Maas reducirt. In gleicher Weise wurden auch die Köpfe der Pfähle angegriffen, welche durch die Stacken oder Buhnen geschlagen waren, die vom Oldenburgischen Ufer den Strom entfernen sollten. Das Holz war so zerstört, daß diese Köpfe von etwa 6 Zoll Stärke durch die Wellen abgebrochen wurden, und es machte hierbei gar keinen Unterschied, ob Kiefern, oder Eichen, Birken oder irgend eine andre Holzart angewendet war.

Am stärksten waren die Zerstörungen immer da, wo eine recht kräftige Strömung reinen Seewassers vorbeizog. An den Einfassungen der neben belegenen Siele, selbst an der Seeseite, konnte man keinen Wurm bemerken und bei Reparaturen zeigte sich deutlich, daß er daselbst ganz fehlte. Das ausfließende süße Binnen-

nasser verhinderte also sein Eindringen. Die Erfahrung hat aber auch hier gezeigt, daß er periodisch übermäßig sich verbreitet, und dann mehrere Jahre hindurch nur in viel geringerem Maasse sich zeigt. Welche besondere Umstände hierauf Einfluß haben, ist nicht bekannt.

In der Ostsee kommt der Wurm gar nicht vor, gewiß ist der Salzgehalt des Wassers für ihn zu geringe. Dieser Umstand ist für die Bauten an der Ostsee überaus vortheilhaft und gestattet hier einfache Holz-Constructionen, die man in der Nordsee und an anderen Meeren nicht wählen darf. Wo der Wurm sich zeigt, muß das Holz, dessen Verwendung sich nicht umgehen läßt, mit Metall oder wenigstens mit Leder bekleidet werden. Die Benutzung von Eisenplatten, in gleicher Weise, wie bei den Schiffen, kommt bei Schleusenthoren, hölzernen Schlagschwellen und selbst bei Pfählen häufig vor, noch häufiger werden dazu aber in den Niederlanden die sogenannten Spieker, das heißt kurze eiserne Nägel mit sehr flachen Köpfen verwendet, die man so dicht neben einander schlägt, daß die Köpfe sich gegenseitig überdecken und sonach die Oberfläche des Holzes mit dem Wasser gar nicht in Berührung kommt. Die Versuche, das Holz mit Creosot oder Metall-Oxyden oder der Verwendung zu imprägniren, haben keinen dauernden Erfolg gehabt. Es scheint, daß in kurzer Zeit eine so vollständige Imprägnung statt findet, daß diese Art des Schutzes sehr bald unzulänglich wird. Dagegen sollen lange Erfahrungen bereits den Beweis geliefert haben, daß das Holz einer besondern Eiche, Eucalyptus genannt, die im westlichen Australien wächst, vom Seewurm nicht angegriffen wird. Dieses Holz soll auch von der weißen Ameise, die unter den Tropen auf dem Lande eben so zerstörend wirkt, wie der Seewurm im Wasser, nicht berührt werden.*)

Schließlich wäre noch zu bemerken, daß der Seewurm nicht nur Holz, sondern auch manche Steine, wie Kalk und weichen Sandstein, durchbohrt, doch unterscheiden die Bohrlöcher in solchen Steinen dadurch, daß sie raue Oberfläche haben und nicht mit Glasur überzogen sind.

*) The Civil Engineer and Architects Journal. 1862. Pag. 248

§. 12.

Veränderung der Meeres-Ufer.

Indem von der ursprünglichen Bildung der Meeres-Ufer abgesehen wird, kann hier nur von den Veränderungen die Rede sein, die gegenwärtig noch in größerem oder geringerem Maasse daran wahrgenommen werden. Die Veranlassung zur dauernden Umgestaltung giebt ohne Zweifel vorzugsweise die Bewegung des Meeres die durch Wellenschlag, Fluth und Ebbe und durch Strömungen verursacht wird. Ausserdem ist die unmittelbare Wirkung heftiger Winde und noch mehr als diese, der Einfluss der Quellen auf sandige und thonige Ufer nicht zu verkennen. Man darf wohl annehmen, daß gegenwärtig die Veränderungen minder bedeutend geworden sind, als sie vor Jahrtausenden waren, in sofern die weniger festen Gebirgsarten, die früher das Meer begrenzten, bereits zerstört sind, und die Vorgebirge und vortretenden Ufer nunmehr auf besonders feste Formationen treffen, die dem Angriffe größern Widerstand entgegen setzen, und zwischen denen die Uferlinien sich bereits den allgemeinen Verhältnissen entsprechend ausgebildet haben. Nichts desto weniger sind jene Festpunkte eben so wenig wie diese Zwischenlinien unveränderlich, vielmehr treten in längeren oder kürzeren Perioden in beiden noch dauernd Veränderungen ein.

Im Allgemeinen beziehn sich diese Veränderungen nur auf Zerstörung oder auf Abbruch der Ufer. Sowol über, als unter dem Wasser stürzt jede Masse, die sich vom Ufer löst, in die Tiefe herab, und nur unter besondern Umständen treten einzelne Theile derselben daraus wieder hervor. Jedes Ufer, wenn es auch aus der festesten Gebirgsart besteht, ist am offenen Meere der Zerstörung ausgesetzt. An den nach Westen belegenen Küsten von England und Schottland bemerkt man eine auffallende Glätte der Oberfläche. Die gegenschlagenden Wellen, vielleicht auch Kiesel und andere Gegenstände haben vorzugsweise die kleineren vortretenden Ecken angegriffen und im Laufe der Zeit beseitigt. Aber es lösen sich in Folge der Verwitterung oder aus sonstigen Ursachen zuweilen größere Massen und alsdann bilden sich neue Angriffspunkte. Die verschiedene Festigkeit des Gesteins giebt in manchen Fällen zu eigenthümlichen Erscheinungen Veranlassung. Wenn das Meer bis zu

besonders festen Gebirgsmasse vorgedrungen ist, und diese Zeit hindurch seinen Angriffen widersteht, so bricht es die unter befindlichen Theile ab. So sah man vor wenig Jahren vor nördlichen Ecke von Helgoland verschiedene Säulen stehn, von denen die eine besonders auffiel, weil sie im obern Theile viel breiter war, als unten. Auch an der westlichen Küste von Portugal den davor liegenden Inseln stehn mehrfach isolirte Felsen vor am weitesten vortretenden Ecken. Zuweilen geschieht es aber, daß nur der untere Theil des dahinter liegenden Gebirges abgehoben wird, während die Decke, die dem Angriffe der Wellen ausgesetzt ist, über dem freien Zwischenraum sich unversehrt erhält. In der natürlichen Felsthore giebt es mehrere auf der Westseite von Helgoland.

Anders verhält es sich mit weicheren Gebirgsarten. Namentlich Kreide, wie sie an beiden Seiten des Canales zwischen England und Frankreich ansteht, auch an der Preussischen Küste vorkommt, bricht in viel stärkerem Maasse ab, und noch mehr findet dieses bei weichem thonigen Boden statt, selbst wenn derselbe große Festigkeit besitzt, auch vielleicht zahllose Granitgeschiebe darin vorkommen, die beim Abbruche herabstürzen und alsdann eine mächtige Steinschüttung vor seinem Fusse bilden. Wo Veränderungen dieser Art noch erfolgen, und der Abbruch der Ufer in kürzeren Perioden, etwa in einem Menschenalter sich auffallend bemerklich macht, da darf man mit Sicherheit annehmen, daß die Ufer früher weiter vortraten, als gegenwärtig, und daß durch ihr Zurückweichen das Meer oder die Bucht, die sie begrenzen, um Vieles erweitert und dadurch wieder die Ursache der Zerstörung um so mehr verstärkt ist. Eine weitere Schlußfolge auf die Verhältnisse früherer Perioden gewinnt hierdurch an Wahrscheinlichkeit, daß nämlich die Binnenmeere einst viel geringere Ausdehnung hatten und zerstörenden Charakter, den sie jetzt zeigen, ihnen ganz fehlte.

Der Canal zwischen Frankreich und England nimmt unzweifelhaft gegenwärtig noch an Breite zu, indem von den steilen Uferhängen, die dem Angriffe des Meeres vorzugsweise ausgesetzt sind, allmählich große Theile sich lösen, und immer neue Feuersteinschichten, die in der Kreide eingesprengt waren, den Kies ersetzen, längs den Küsten von Westen nach Osten treibt. Wenn beide Ufer einst weiter vortraten, so standen sie sich auch näher, vielleicht

liefsen sie zwischen sich nur einen schmalen Meeresarm, durch die Fluth und Ebbe aus dem Atlantischen Ocean nur in geringer Maasse, oder gar nicht hindurch treten konnte. Die Nordsee damals in ihrem südlichen Theile ganz anderen Verhältnissen liegen, als gegenwärtig, und die darin einmündenden Ströme ten bei der geringeren Bewegung des Wassers nicht nur Sand und Kies, sondern auch die thonigen Theilchen absetzen und den Meeresboden bilden, der bei sehr niedriger Ebbe im Norden der Wangeroog noch zu Tage tritt, und der mit den ausgedehnten Sandgründen vor den Niederländischen, Oldenburgischen und Hannoverschen Küsten zusammenhängt.

Soweit ich die Ufer des Atlantischen Meeres im südlichen Frankreich, im Norden von Spanien und in Portugal gesehen habe, konnte ich niemals ein Kreide-Ufer, wie im Canale bemerkt. Ueberall zeigten die vortretenden Ecken, zwischen denen sich häufig Sand- und Kies-Ablagerungen hinziehen, nur festes Gestein. Der aufgeschwemmte Thonboden bildet aber hier eben so hohe Ufer wie an der Nordsee. Dieses zeigt sich nur an der Ostsee. Vielleicht dürfte man aus der Beschaffenheit der Ufer auf eine Periode der Entstehung der davor liegenden Meere schließen. Das Meer, welches viele Tausende von Jahren hindurch seine Ufer nicht gegriffen hat, hat sich bereits so sehr erweitert, daß es über die festere Grenzpunkte gelangt ist, die ihm in viel höherem Maße Widerstand leisten. Wo dagegen die Ufer aus Gebirgsarten bestehen, die sichtlich noch abbrechen und zurückweichen, da dürfte man annehmen, daß der Kampf erst in späteren Zeiten begann, und das Meer in jenen frühen Perioden noch nicht, wie gegenwärtig so störend wirkte, also seine Ausdehnung viel geringer und leicht durch zwischen liegende Landstriche noch in kleinere Theile getheilt war.

Die Veränderungen, die wir an der Ostsee und in geringer Maasse auch an der Nordsee noch bemerken, vergrößern fortwährend die Wasserfläche in ihrer allgemeinen Umgrenzung. Das vom Ufer abbrechende Material löst sich, während es von den Wellen hin- und hergeschleudert wird, größtentheils in so feine Körner auf, daß dieselben im bewegten Wasser schweben und auch durch den Rückstrom in die Tiefe herabgeführt werden, wo der Wellenschlag sie nicht weiter berührt. Die Feuersteinknochen

mit der abbrechenden Kreide herabfallen, und eben so auch die haren Geschiebe und der Kies bleiben in der Nähe des Ufers. sind ein Spiel der Wellen und schleifen sich immer mehr bei Bewegung ab. So wird die Masse jedes Steinchens nach und immer kleiner, und der Abgang ist feiner Staub, der in die des Meeres versinkt. Sehr auffallend ist die Verschiedenheit in der Grösse des Kiesel, die in der Richtung seiner Bewegung sich oft auffallend zu erkennen giebt, was man an manchen Uferstellen leicht bemerkt, wenn man auf längere Strecken den Fuß verfolgt. Westlich von Boulogne ist der Kies, aus Feuersteinen bestehend, vorherrschend, doch ist er hier schon minder grob, als bei Dieppe. Bei Calais werden die Steinchen noch grösser und es finden sich schon grosse Massen Sand dazwischen. Die Steinchen verschwinden beinahe ganz bei Dünkirchen und weiterhin sieht man nur Sandablagerungen.

Die nämliche Erscheinung wiederholt sich auch auf der Insel Arcona. Unter dem Vorgebirge Arcona besteht der schmale Strand nur aus Feuersteinen, die auch hier in der Kreide in grossen Schichtenweise eingesprengt waren, und bei ihrem Einsturze zerfallen sind. Verfolgt man das Ufer in südlicher Richtung, so sehr bald der Sand auf, und wo die Schaabe oder die schmale Bucht beginnt, welche die Meeresbucht, die Tromper Wiek trennt, von den Binnenseen trennt, findet man nur selten noch Feuersteine, und zwar bereits vollständig abgerundete.

Die sehr auffallende Ablagerung läßt indessen erkennen, daß die Verhältnisse in früherer Zeit wesentlich verschieden waren. Der erwähnte Landzunge erstreckt sich nämlich in ihrer ganzen Ausdehnung, also in der Länge von etwa einer und einer halben Meilen und zwar vielfach hoch mit Sand überweht, einen Saum von Feuersteinen, der sehr regelmässig gestaltet etwa 10 bis 30 Ruthen über den mittleren Stand der See sich erhebt, und stellenweise bis 30 Ruthen breit ist. Er wird zuerst sichtbar bei Juliusburg wo das hohe Ufer der Halbinsel Wittow abfällt, etwa 300 Ruthen nördlich vom Dorfe Breege. Hier liegt er 50 Ruthen hinter dem steilen Strande und zieht sich 800 Ruthen parallel zu demselben auf der Schaabe fort. Alsdann spaltet er sich. Der Arm, der der See zunächst liegt, behält die parallele Richtung zum gestrigen Strande und den erwähnten Abstand von demselben

bei, er hat aber eine weit geringere Breite, die oft nur wenige Ruthen misst. Etwa 300 Ruthen vom Theilungspunkte entfernt, verschwindet er. Der andre Arm dagegen, gleichfalls zum Strande noch nahe parallel, entfernt sich von demselben etwa auf 100 Ruthen, und kann, obwohl vielfach mit hohen Dünen überdeckt, noch drei Viertel Meilen weit bis gegen das Dorf Glowe, das schon auf der Halbinsel Jasmund liegt, verfolgt werden.

Ueber die Entstehung dieser Kiesrücken kann man nicht zweifelhaft sein. Sie sind nichts Andres, als Seestrand früherer Perioden. Wenn man längs dem steilen Kreide-Ufer der Halbinsel Jasmund geht, sieht man die Feuersteine eben so rein ausgewaschen und in gleicher Weise gelagert, nur sind sie hier grösser und weniger abgeschliffen, also befinden sie sich noch näher an der Stelle, wo sie mit der Kreide herabstürzten. Jene Rücken auf der Schaabe sind daher von den früheren Kreidegebirgen, durch deren Zerstörung der Feuerstein sich löste, weiter entfernt. Diese Kreidegebirge bestehen zum Theil noch und bilden das Vorgebirge Arcona, das sich 150 Fufs über das Meer erhebt. Northwestlich von demselben setzt sich die Kreidebildung fort, doch nach Süden, also in der Richtung, in der die Steine sich bewegten, lehnt sich an dieselbe unmittelbar ein nahe eben so hohes aufgeschwemmtes Land an. Die Zerstörung dieses Vorgebirges setzt sich noch dauernd fort und nach wenigen Jahren kann man daran die eingetretenen Veränderungen schon bemerken, aber die Menge der dabei gelösten Feuersteine ist gegenwärtig so unbedeutend, daß in geringer Entfernung sie nur noch vereinzelt auf dem Strande vorkommen und derselbe bald nur noch aus feinem Seesande besteht. Aus der Steinmasse der erwähnten Rücken kann man auf die Ausdehnung der nach und nach herabgestürzten Ufer schliessen. Diese Steine wurden in der früheren Periode, als der hintere Rücken sich bildete, bis zur Halbinsel Jasmund geführt, alsdann bildete sich in dem südöstlichen Theile eine Sand-Ablagerung. Doch nochmals traten die Kiesel überwiegend wieder auf, und der zuerst erwähnte Arm war ein neuerer Strand, der jedoch nicht mehr die Ausdehnung des früheren annahm. In neuester Zeit haben sich grofse Sandmassen vor die alten Ufer der Schaabe vorgeschoben.

Aehnliche Erscheinungen, wenn auch viel weniger auffallend und viel unregelmässiger, wiederholen sich auf der sogenannten

Heide oder der sandigen, bedeutend breiteren Landzunge, die Halbinsel Jasmund mit der südwärts belegenen Halbinsel Rügen verbindet. Man bemerkt hier ähnliche Kiesrücken, wellenförmig erheben, von denen jedoch eine große Anzahl abgeräumt liegt. Sie lassen vermuthen, daß die Strandlinien nicht so lange erhielten, daß vielmehr immer neue Ablagerungen in kürzeren Perioden das Ufer seewärts herausrückten. Auch in beiden Fällen vor diesen niedrigen Landzungen die Küste nicht zurückgewichen, sondern im Gegentheil seewärts vorgerückt ist, so macht diese Erscheinung keine Ausnahme von der allgemein gültig aufgestellten Regel über den Abbruch der Küste, denn die Schaabe sowol, wie auch die Schmale Heide in den tief zurück tretenden Meeresbuchten, die Tromper Bucht und die Prorer Wiek genannt, also nicht an der offenen Küste, giebt aber noch eine andere Ursache, die selbst vor einem leeren-Ufer eine starke Ablagerung des gelösten Materials bewirken kann. Dieses geschieht, wenn die Strömung, welche Sand und Kies bis zu einer gewissen Stelle führt, daselbst aufhört und Ebbe können allein solches bewirken. Schon Smeaton hat hierdurch das Entstehen der ausgedehnten Kiesbank zwischen Rye, westwärts von Dover, und die Verschüttung des ehemaligen Rye.

Wenn wir zur nähern Betrachtung des Fortschreitens des Sandes übergegangen werden, muß noch im Anschlusse an die Betrachtung des leeren-Ufer die auffallende Erscheinung betrachtet werden, die an den Küsten der Ostsee sich immer wiederholt, daß nämlich dieselben herabstürzenden großen Granit-Blöcke dem Ufer Schutz gewähren, vielmehr nach und nach und oft in wenigen Jahren spurlos verschwinden. Die Erklärung ist nach dem, was über die Wirkung der Wellen (§. 5) gesagt ist, sehr einfach. Ein einzelner Block ruht nicht auf fester Unterlage, vielmehr ruht er auf Thonboden. Der Druck, den die anrollende Welle ausübt, setzt sich rings um ihn fort, trifft also auch sein bewegliches Unterlager, woher Theile desselben gelöst werden. Die Wirkung äußert aber auch das zurückfließende Wasser, sinkt der Stein nach und nach tiefer herab. Je höher er steht, um so stärker ist die Wirkung der Wellen, aber selbst in einer Tiefe von 20 und 30 Fuß hört diese noch nicht auf, und in

solcher Weise verschwinden die Steine und über sie fort treffen Wellen späterer Stürme ungeschwächt wieder den neuen Fuß hohen Ufers. Wie schnell das Versinken großer Steine folgt, die dem Angriffe des Meeres ganz bloßgestellt sind, z. sich einst beim Molenbau vor Pillan. Die für das Jahr 1828 stimmte geringe Verlängerung der Südermole war beendet, un ohnfern des neuen Kopfes in der Richtung des im nächsten J auszuführenden Baues eine Sandbank sich gebildet hatte, die wenige Fulse unter Wasser lag, so schien es angemessen, das ü gebliebene Material zur Sicherung dieser Bank zu benutzen, wo eine wesentliche Erleichterung der spätern Arbeit sich als v scheinlich herausstellte. Die vorrätigen Faschinen dienten zu dung einer schwachen Unterlage, auf welche etwa 10 Schachtr Steine durchschnittlich von 2 Fuß Durchmesser geworfen wu Schon nach kurzer Zeit war die so geschaffene Insel nicht sichtbar, und als ich im nächsten Frühjahr sie suchte, konnte in der Tiefe von 24 Fuß einzelne Steine mittelst langer Peilsta noch bemerkt werden.

Die hohen und steilen Meeres-Ufer, die aus aufgeschwemm Boden und namentlich aus abwechselnden Thon- und Sand-L bestehn, werden nicht allein von dem Wellenschlage, sondern von dem herausquellenden Wasser angegriffen. Große massen, oft mit Bäumen und Sträuchern bestanden, lösen sich den abwärts geneigten Thonschichten, wenn diese vom Wasser weicht werden, und stürzen bis zur ganzen Tiefe herab, oder f schon auf ihrem Wege einen festen Halt, wobei sie im Zusam hange bleiben und terrassenförmig auf dem steilen Ufer einer frischer Vegetation bedeckten Absatz bilden. Dergleichen Al schungen werden allein von den Quellen veranlaßt, und erf auch später, wenn der Fuß bereits gegen den Angriff der W gesichert ist. In diesem Falle aber bildet sich über dem Fusse und nach eine flachere Böschung, die endlich die vollständi haltung derselben herbeiführt. Man entschließt sich zu se Deckungen nur, wenn wichtige Bauwerke, wie Leuchtthürme, chert werden sollen. Der Verlust an Boden, der in einem und in einer kurzen Reihe von Jahren eintritt, steht mit den B solcher Anlage in keinem Verhältnisse, und die Uferbesitzer lassen es daher, letztere darauf zu verwenden. Im Laufe de

werden diese Verluste aber übermäſsig groſs. An manchen Stellen der westlichen Küste des Samlandes bricht das Ufer in jedem Jahre sehr stark ab, und es dürfte sich daher gewiſs rechtfertigen, diesem groſsen Landverluste endlich eine Grenze zu setzen.

Ich gehe nunmehr zur Untersuchung über das Verhalten des Gieses und Sandes am Rande des Meeres über. Daſs der Kies, während er durch die Wellen hin- und hergeworfen wird, sich abkleift, abrundet und immer kleinere Dimensionen annimmt, ist bereits erwähnt worden. Ein Zerfallen desselben in eine Menge Sandkörnchen kommt indessen wohl nur vor, wenn er aus einer weichen Gebirgsart besteht. Der feste Kies, wie etwa der Feuerstein, zerspringt zwar bei heftigem Aufstossen leicht in mehrere Stücke, dieses geschieht indessen vorzugsweise doch nur, wenn er in unregelmäßigen und gröſseren Knollen vorkommt. Sobald er der Kugelform sich nähert und geringe Dimensionen angenommen hat, hört die weitere Zertheilung auf. Eine Umwandlung in Sand könnte aber nur noch in sofern stattfinden, als aus jedem Kiesstücke zuletzt ein einziges Sandkörnchen sich ausbildet, wie nach dem von mir angestellten Versuche*) auch bei weicherem Gesteine geschieht. Die groſsen Sandmassen, die man am Meere wahrnimmt, lassen sich also in dieser Weise nicht erklären, und man kann nur annehmen, daſs sie entweder durch Ströme herbeigeführt wurden, oder aus dem Abbruche sandiger Meeres-Ufer sich ansammelten. Im aufgeschwemmten Boden pflegen Sandlager sehr häufig vorzukommen, wenn man sich von denjenigen Massen absieht, welche während der Stürme von der See aus heraufgetrieben werden und oft in groſser Höhe das Ufer überdecken.

Die niedrigen Ablagerungen von Sand oder Kies vor dem Ufer, die nur wenig über den Meeresspiegel vortreten und von höheren Wellen überspült werden, nennt man den Strand. Die Regelmäßigkeit, in welcher derselbe sich ausbildet, ist überraschend. Als ich einst behufs des Dünenbaues den Strand der Frischen Nehrung in Königsberger Regierungsbezirke aufnahm, konnte ich ohnerachtet der geringen Breite, die durchschnittlich nur etwa 15 Ruthen maſs, dennoch sehr lange Linien von 1000 Ruthen, und in einem Falle sogar von 1300 Ruthen Länge darauf abstecken, und nach dem

*) Im zweiten Theile dieses Handbuches § 56.

Auftragen stellte sich die Begrenzung des Wasserspiegels als eine überaus regelmäßige und sanft gekrümmte Linie dar. Etwas Aehnliches wiederholt sich an allen Meeresküsten. Betrachtet man die Französischen Küsten-Charten, so bemerkt man dieselbe regelmäßige Strandbildung sowol im Canale, als im Atlantischen und im Mittelländischen Meere. Einzelne Ausläufer der Gebirge treten in die See hinaus, und zwischen diesen zieht sich der sandige Strand in flachem, etwas concavem Bogen hin. Häufig schließt sich das Ufer nicht unmittelbar an den Strand an, derselbe besteht vielmehr, wie unsere Nehrungen, nur aus einem schmalen Landstreifen, hinter dem ein ausgedehnter Binnensee oder ein Haff liegt. Namentlich an der Küste des Mittelländischen Meeres wiederholt sich diese Erscheinung sehr vielfach. Das Städtchen Cette liegt z. B. am Fuße eines isolirten hohen Kalkfelsens, der durch den Etang de Thau vom festen Lande geschieden ist. Dieser See erstreckt sich bis gegen Agde, wo das Gebirge wieder im Cap d'Agde weit in die See tritt. Zwischen diesen beiden Bergkuppen zieht sich nun in der Länge von 2½ Deutschen Meilen die Landzunge hin, die wenig einwärts gekrümmt, nur etwa 200 Ruthen Breite hat. Noch viel schmaler ist die Landzunge, die auf der östlichen Seite von Cette die daselbst belegenen weniger breiten und tiefen Haffe begrenzt. Hinter den in der See liegenden ausgedehnten Felsbänken vor dem Etang d'Ingri tritt die Nehrung in weitem Bogen in die See vor, doch nimmt sie weiterhin vor dem Etang de Palavas wieder die einwärts gekehrte flache Krümmung an. An der Nordküste von Frankreich, neben dem Canale gestaltet sich vielfach die Erscheinung in sofern etwas anders, als der Strand in viel schärferen Krümmungen tiefe Buchten bildet. Die Ursache dieser Abweichung muß man wohl in den starken Strömungen der Fluth und Ebbe suchen, die durch einzelne weit vortretende Gebirgs-Ecken unterbrochen, hinter sich eine kreisförmige Strömung gleich den Neeren oder Widerströmen hinter den Buhnen in den oberländischen Flüssen veranlassen.

Daß Sand- und Kies-Ablagerungen schon in Folge des Wellenschlages sich gegen die See einigermaßen regelmäßig abgrenzen müssen, leuchtet ein, in sofern die etwa vortretenden Ecken einem besonders starken Angriffe ausgesetzt sind, und daher bald verschwinden, während die vorhandenen kleineren Buchten dem Angriffe sich am meisten entziehen, und demnach die hinein getriebenen

Körnchen daselbst ungestört liegen bleiben. Man muß indessen auch gewisse Küstenströmungen voraussetzen, um die Entstehung und Erhaltung des Strandes und namentlich auch der schmalen Erdzungen oder der Nehrungen zu erklären, welche die tiefer einspringenden Buchten des Meeres abschließen. Ohne solche Strömung würde der Sand nahe an der Stelle, wo er sich befindet, liegen bleiben, und die überaus gleichmäßige Vertheilung desselben, die vor den Meeres-Ufern wirklich vorkommt, würde nicht eintreten können.*)

Ich erinnere an die Erscheinungen, welche beim Auflaufen der Wellen auf den Strand sich zeigen (§. 5). Die ganze Oberfläche desselben kommt in Bewegung, soweit sie von der Welle überfluthet wird. Die Körnchen folgen der Richtung der Welle, und sobald das Wasser zurückläuft, reißt es sie wieder mit sich. Treffen die Wellen normal gegen das Ufer, so tritt jedes Körnchen ungefähr wieder an dieselbe Stelle zurück, die es früher inne hatte, doch dieses ist ein seltener Fall. Gemeinhin laufen die Wellen etwas schräge auf das Ufer auf, und alsdann setzen sie auch die Sand- und Kieskörnchen in schräger Richtung in Bewegung, so daß sie langs dem Strande etwas vorrücken. Käme das auflaufende Wasser vollständig zur Ruhe, so würde es in derjenigen Richtung abfließen, in der das Gefälle am stärksten ist, also normal gegen die Strandlinie. Bei stärkerem Wellenschlage geschieht dieses aber nicht, man bemerkt vielmehr, daß das Wasser, sobald es auf den Strand gelaufen ist, seine fortschreitende Bewegung in der Richtung des letzteren noch beibehält, und daß es diese beim Zurücklaufen gleichfalls verfolgt. So veranlaßt schon ein mäßiger Wellenschlag, der das Ufer nicht etwa ganz normal trifft, eine Strömung in der Richtung des Strandes und dieser folgen auch die Sand- und Kieskörnchen, indem sie im Zickzack abwechselnd immer auf- und abtreiben.

Wenn diese Strömung allein durch die Wellen veranlaßt würde, so müßte sie nach der localen Richtung des Strandes bei gewissen

*) Auf den Nehrungen der Ostsee zeigt sich an einzelnen wenigen Stellen Diluvial-Boden, man muß daher annehmen, daß einige Inseln hier ursprünglich schon existirten und später durch Sandablagerungen des Meeres theils mit dem Festlande verbunden, theils aber in sehr großer Ausdehnung jedesmal fortgesetzt wurden.

Winden an nahe belegenen Stellen sehr verschieden ausfallen, auch wäre es unerklärlich, wie die großen Sandmassen herbeigeführt werden könnten, die zur Bildung der Nehrungen erforderlich waren. Wenn dagegen eine vorherrschende Küstenströmung, unabhängig vom Winde, obwohl zuweilen von diesem unterbrochen, besteht, so ist es ersichtlich, daß dieser Strom durch die vortretenden Ufer-Ecken bedingt, den kürzesten, also den geraden Weg von einer derselben bis zu der andern verfolgt, und daß er den Sand, den er herbeiführt, in dem ruhenden Wasser zur Seite absetzt. Man denke einen Strand, der sich längs eines solchen Küstenstromes hinzieht, an einer Stelle unterbrochen. Wenn nun der Wind den Strand trifft so kommt die Oberfläche desselben in Bewegung und die Sandkörner, die auf ihrem hin und her gerichteten Wege im Allgemeinen dem Strome folgen, fallen in die Tiefe hinab, sobald sie das Ende des Strandes erreichen. Hier bleiben sie liegen, denn in größerer Tiefe trifft sie weniger der Stoß der Wellen, und letztere werden schwächer, sobald die Ablagerung größere Höhe annimmt. Bei Winden, die in der Richtung des Stromes oder des Strandes wehen, ist diese Sandmasse sogar der Einwirkung des Wellenschlages ganz entzogen. So setzt sich der Strand immer weiter fort, und hierdurch erklärt sich auch das Entstehen der Nehrungen, so wie die bereits erwähnte Erscheinung, daß die Oeffnung in denselben, welche die See mit dem Haffe verbindet, oder das Tief, sich an der vom Strome abgekehrten Seite befindet.

In gleicher Art bilden sich auch die Hacken vor Ufer-Ecken aus. Wegen ihrer freien Lage werden sie aber von den darüber laufenden Wellen immer angegriffen und bleiben daher in ihren vorderen Theilen, oft aber auch in ihrer ganzen Länge unter Wasser. Ihre Richtung stimmt immer mit der des Küsten-Stromes überein, doch pflegen sie die Wendung, die dieser hier macht, gleichfalls an ihrem äußern Ende erkennen zu lassen. Sie bestehn aus dem Sande oder Kien, der auf dem vorhergehenden Strande antreibt, und wo solcher reichlich vorhanden ist, da bilden sie sich am vollständigsten aus. An der Preussischen Ostseeküste befindet sich ohnfern des sandigen Mecklenburgischen Ufers ein solcher Hacken, der Darss genannt wird, der in der Richtung des vorhergehenden Strandes zuerst nördlich und dann östlich weit in die See vortritt, und noch in seiner Ausbildung begriffen ist, indem das nördliche Ufer ihm folgt. Aehnlich

lacken, jedoch von geringerer Ausdehnung, schliessen sich an die harten Uferecken von Arcona und von Brüsterort an.

Merkwürdig sind die Hacken im Frischen Haffe zwischen Pillau und Königsberg. Fig. 27 zeigt dieselben nach der sorgfältigsten Aufnahme, die der Navigations-Lehrer Becker 1825 und 1826 ausführte. Der Grund des Haffes besteht aus einem Niederschlage aus Thon und Moorerde, der so weich ist, daß die Peilstange darin leicht eindringt. Die Hacken sind dagegen feste Sandablagerungen, wie auch die Ufer theils an sich sandig, theils aber von einem sandigen Strande grossentheils umgeben sind.

Wenn man durch das Tief von Pillau in das Haff kommt, so sieht man zunächst die weit ausgedehnten Sandbänke, die bei westlichen Stürmen mit dem hart eingehenden Strome von der Seeseite her eingetrieben und hier niedergeschlagen sind. Durch dieselbe führt in südöstlicher Richtung das Haupt-Fahrwasser, die Rönne genannt, das jedoch nur durch Baggern in der nöthigen Schiffahrtstiefe erhalten werden kann. Diese Sandbank lehnt sich nordwärts an den Camstigaler Hacken, der nahe eine Meile lang in östlicher Richtung sich hinzieht, und die nordwärts gelegene Bucht, die Fischmüser Wiek genannt, begrenzt. Wenn er an seinem äussern Ende noch tief unter Wasser liegt, so ist er doch mit der Peilstange leicht zu erkennen, indem diese in den Sand nicht eindringt. Der Hacken verdankt ohne Zweifel seinen Ursprung dem eingehenden Strome, er wie ein Küsten-Strom an seiner Seite den Sand absetzt.

Weiterhin ist die Strömung im Haffe sehr geringe und fast unmerklich, da die Auswässerung des Pregels, die an sich schon ziemlich unbedeutend ist, in den weiten Profilen keine wahrnehmbare Geschwindigkeit mehr erzeugen kann. Auch der seewärts eingehende Strom schwächt sich in dem Maasse, wie er sich ausbreitet, und wie die vor ihm liegende Wasserfläche, in die er sich ergiesst, immer kleiner wird. Der Wellenschlag ist im Haff freilich viel schwächer, als in der See, aber dennoch hinreichend stark, um den Sand am Strande in Bewegung zu setzen. Es tritt also hier der gewöhnliche Fall ein, daß eine vorherrschende Strömung nicht existirt und die Ablagerungen des Sandes nur von dem Wellenschlage bedingt werden, die der Wind in seinen verschiedenen Richtungen veranlaßt. Diese Ablagerungen sind daher nicht nach grossen zusammenhängenden Linien erfolgt, die durch vortretende feste

Uferpunkte von einander geschieden werden, vielmehr bemerkt man darin nur die Wirkung der bald in dieser, und bald in jener Richtung auflaufenden Wellen, wodurch kleine Unregelmäßigkeiten eingeglichen und die Umgrenzung des tiefen Wassers innerhalb einiger Flächen in Zusammenhang gebracht wird. Auf diese Wellen sind durch Hacken, die von beiden Seiten aus vortreten, getrennte Bassins entstanden, welche mehr oder weniger abgerundete Formen angenommen haben.

Unmittelbar vor der Mündung des Pregels ist das Haff so beschaffen, daß die Wirkung der Wellen auf die Sandablagerung weniger fallend sich zu erkennen giebt. In der Entfernung von drei Viertel Meilen tritt aber schon von der Südseite der Brandenburger Hacken und demselben gegenüber, von der Nordseite ein anderer Hacken, der Littaus-Sand genannt, weit vor. Im Abstände von 1½ Meilen schließen alsdann wieder zwei ähnliche Hacken, nämlich nördlich der Peyser Hacken und südwärts in viel geringerer Länge der Leiberger Hacken ein Bassin ab. Ein anderes erstreckt sich bis zu den Kahlholzer Hacken, während die Fischhauser Wiek durch bereits erwähnten Camstigaler Hacken begrenzt wird. Auch weiter südwärts oder in dem sogenannten Elbinger Haff bemerkt man ähnliche Bassins. Das erste wird im Norden durch den Kahlholzer Hacken und durch die Sandablagerungen vor Pillau, im Süden gegen durch den gleichfalls weit vorspringenden Leysubner und gegenüber liegende kleinere Hacken bei Alt-Tief auf der Neuhöft begrenzt. An dieses schließt sich wieder ein anderes Bassin an, bis an den Katthacken vor Passarge reicht, dem der Polscker Hacken gegenüber liegt.

Wenn diese verschiedenen Hacken auch ohne Zweifel zum Theil mit der Gestaltung und Zusammensetzung der dahinter belegten Ufer in Beziehung stehen, und aus dem Abbruche derselben entstanden sind, so ist die Bildung der ziemlich regelmäßigen Bassins schon ihnen, und das wiederholte gleichzeitige Auftreten je zwei einander gegenüberliegender Hacken doch so auffallend, daß man annehmen muß, es habe noch eine andere Ursache zu ihrer Bildung Veranlassung gegeben. Diese kann aber keine andere als der Wellenschlag, der in Verbindung mit der schwachen Erosion am Ufer, die er zur Folge hat, den Strand ausgleicht und als niedrige Sandablagerung oder als Hacken noch unter W

gesetzt. Die Erscheinung zeigt, wenn man das Fehlen einer vorwärtigen Strömung berücksichtigt, unverkennbare Aehnlichkeit mit der Formation der Nehrungen.

Aus dem, was über die Bildung des Strandes an der offenen See gesagt ist, ergibt sich schon, daß im Allgemeinen jede Unterbrechung desselben, oder jede Oeffnung im Strande bei starker Wellenschlage und vorherrschender Küstenströmung, sofern die nötigen Kies- oder Sandmassen herbeigeführt werden, sich verengen und wenn nicht andere Kräfte dieses verhindern, sich sogar vollständig schliessen muß. Die Erfahrung bestätigt dieses jedesmal. Schon im ersten Theile dieses Handbuches §. 27 ist erwähnt worden, daß die Pontinischen Sümpfe dadurch entstanden sind, daß Dünenketten ihre natürlichen Abflüsse verschlossen. Die Mündungen von Bächen in die See werden nach anhaltenden Stürmen vollständig gesperrt, indem der Strand ohne Unterbrechung sich über die See fortzieht, und es bildet sich die neue Mündung nicht früher, als das Binnenwasser so hoch gestiegen ist, daß es anfängt, über die Sandablagerung fort zu fließen oder hindurch zu sickern. Die kleineren Binnenseen, die ohnfern der Pommerschen Küste liegen, verlieren fast in jedem Jahre einmal ihren natürlichen Abfluß. Vor dem Camper-See auf der Westseite von Colberg und dem Gothen-See zwischen Swinemünde und Häringsdorf habe ich wiederholentlich 5 bis 6 Fuß tiefe Gräben im Strande ausheben sehn, um den unterbrochenen Abfluß wieder darzustellen.

Die Oeffnungen im Strande erhalten sich nur, wenn sie in Folge der hindurch strömenden großen Wassermassen so weite Profile haben, daß dieselben in der Zwischenzeit, wenn die Strömung unterbrochen ist, nicht erheblich verengt werden können. Ausgedehnte Binnenseen, wie das Frische und Curische Haff in Ostpreußen, oder das Haff zwischen Swinemünde und Stettin nehmen, wenn starke Winde die Küste treffen, und der Wasserspiegel der See sich hebt, sehr bedeutende Wassermassen auf, es bildet sich daher in ihren Mündungen während der ersten Zeit des Sturmes ein heftiger eingehender Strom, der zwar vielen Sand mit sich führt, denselben aber nicht in der engen Mündung, sondern erst weiter hin fallen läßt. Die starken Sandablagerungen in dem Haff vor Pillau und eben so auch vor der Einmündung der Swine zeigen dieses sehr deutlich. In den Mündungen selbst erfolgt der Nieder-

schlag nicht früher, als bis der Binnensee zur Höhe des äußeren Wasserstandes gefüllt ist, oder die Einströmung aufhört. Alsdann legt sich gemeinhin schon der Sturm, die See senkt sich und die Ausströmung beginnt, die bald so kräftig wird, daß sie die Mündung wieder aufräumt.

Wo keine ausgedehnte Binnenseen dahinter liegen, auch keine große Ströme münden, kann diese natürliche Aufräumung einer vorhandenen Oeffnung nicht mehr erfolgen, und wenn man solche Oeffnung künstlich darstellen wollte, so würde sie, falls die Küste überhaupt den in Rede stehenden Versandungen ausgesetzt ist, in kürzester Zeit sich schließen. Dieses wird durch alle Erfahrungen bestätigt, und zwar zeigt es sich an den Ausmündungen kleiner Wasserläufe schon so augenscheinlich, daß selbst eine flüchtige Besichtigung des Seestrandes zu der Ueberzeugung führt, die Mündung eines Seehafens könne sich nur offen erhalten, wenn eine kräftige Strömung dauernd oder periodisch hindurch geht. Die letztere ist nur in dem Falle entbehrlich, wenn der Hafen entweder in einer geschützten Bucht liegt, wo also die Wellen den Sand nur wenig bewegen, oder wo die Küste aus Felsen besteht, und Sandablagerungen davor überhaupt nicht vorkommen. An einem sandigen oder kiesigen Ufer des offenen Meeres ist daher eine Hafenanlage unmöglich, wo die Natur die Gelegenheit bietet, eine kräftige Strömung hindurch zu leiten. Je stärker die letztere, oder je ausgedehnter das Quellengebiet des ausmündenden Flusses ist, um so größer ist die Tiefe, die in der Hafenmündung sich erhält. Aus dieses bestätigt sich durch die Erfahrung. In den drei kleinen Häfen in Hinter-Pommern sind die localen Verhältnisse im Uebrigen sehr nahe dieselben. Sie liegen in geringen Entfernungen von einander in einer sandigen Küste und zwar bildet jeder die Mündung eines kleinen Flusses, während keiner von diesen einen ausgedehnten Binnensee durchfließt, der beim Anschwellen der Ostsee durch Rückströmung gehoben würde. Das Quellengebiet der Persante hat 50 Quadratmeilen, das der Wipper 42, und das des Stolp-Flusses 31 Quadratmeilen. Die gewöhnlichen Tiefen dieser Flüsse in unvor ihren Mündungen betragen beim mittleren Wasserstande: bei Colbergermünde, wo die Persante in die See tritt, 12 Fuß, bei Regenwaldermünde, oder an der Wipper, 10 Fuß und bei Stolpmünde an dem Stolp-Fluss 8 bis 9 Fuß, doch wird die letzte Tiefe bei der

ienlich frequenten Schifffahrt nur dadurch erhalten, daß bei irgend instiger Witterung der Bagger vor der Hafenmündung in Thätigkeit ist.

Gewöhnlich ist an solchen Stellen, wo die localen Verhältnisse die Anlage eines Hafens begünstigen, auch das commerzielle Bedürfnis zur Errichtung eines solchen am größten, in sofern ausgestaute Binnenseen und große, schiffbare Ströme die bequemste Gelegenheit zum Verkehr mit dem Binnenlande bieten. Eine Ausnahme hiervon pflegt für Handelshäfen nur einzutreten, wenn unbedeutende Ästchen, die in die See münden, mit kleinen Kähnen befahren werden oder vielleicht zum Flößen von Scheitholz dienen, das bei instiger Witterung in die auf offener See liegenden Schiffe verladen wird. Bei einiger Ausdehnung solchen Verkehrs wird die Anlage eines vollständigen Seehafens und zwar von bedeutender Wassertiefe gefordert. Die Schwierigkeit der Erhaltung der Tiefe in der Mündung bleibt trotz aller sonstigen Erfahrungen ganz unbeeinträchtigt. Man weist nach, daß seit Menschen-Gedenken oder wenigstens in der letzten Zeit keine neue Sandablagerungen vor dem Lande sich gezeigt haben (was an der offenen See niemals ohne äußere Veranlassung geschieht), und hieraus schließt man, daß auch in Zukunft der gegenwärtige Zustand sich nicht verändern kann. Hiernach kommt es also nur darauf an, die Hafenmündung soweit seawärts herauszulegen, bis man die gewünschte Tiefe antrifft. Es werden also Hafendämme oder Molen projectirt. Genau dasselbe geschieht auch, wenn es sich um Verbesserung bestehender Häfen handelt, und selbst solcher, wo diese Auffassung sich schon wiederholentlich als unzulänglich erwiesen hat.

Das vorgeschlagene, sehr kostbare Mittel schafft nach allen Erfahrungen augenblickliche Hülfe. Ob nach zehn Jahren und vielleicht schon früher dieselben Uebelstände wieder eintreten und also man noch von andern sehr großen Erschwernissen der Schifffahrt begleitet sind, wird nicht beachtet. Indem man den Zusammenhang der Erscheinungen nicht klar auffaßt, so übersieht man die nothwendigen Folgen solcher Anlagen und hofft jedesmal, daß die Uebelstände, die sich regelmäfsig später zu zeigen pflegen, in diesem speziellen Falle ausbleiben werden.

Die Erfolge solcher Molenbauten sind indessen leicht erklärlich, und treten überall ein, wo die Tendenz zur Verlandung überhaupt

vorhanden ist, also wo grofse Sand- oder Kiesmassen durch Wellenschlag und Küstenströmung in Bewegung gesetzt werden und am Strande treiben. Vor unsern Ostsee-Häfen, so wie auch vor dem am Canale zwischen England und Frankreich und eben so an einem grofsen Theile der Französischen Küste am Mittelländischen Meere zeigt sich genau dieselbe Erscheinung. Eben so wie natürliche Ufer-Ecken, also wie etwa jene vortretenden Ausläufer der Gebirge in der Nähe von Cette, unterbrechen die Molen eines Hafens den Küstenstrom und zwingen denselben, eine andre Richtung anzunehmen, als er bisher verfolgte. Die Verhältnisse werden abwesentlich verändert, und an beiden Seiten des Hafens entstehen kleine Meeresbuchten. Der Strom entfernt sich vor denselben von den Ufern und beginnt eine neue Strandbildung, die sich endlich an den Kopf der Mole anschliesst. Bei der geringen Ausdehnung der Buchten werfen die Wellen den zur Seite des neuen Stroms abgelagerten Sand bis an das Ufer und hier, im Schutze der Molen, lagert er sich sicher ab, bis die ganze Bucht gefüllt ist und nunmehr in gleicher Art, wie vor dem Bau der Molen, der Sand wieder in den Hafen treibt und eben sowol die Mündung desselben verflacht, wie er auch vor der Mündung die frühere grofse Tief ausfüllt.

Wenn man abbrüchige Meeres-Ufer schützen und ein weiteres Vortreten des Strandes vor dieselben veranlassen will, so wird vielfach mit mehr oder weniger Erfolg dasselbe Mittel angewendet, das beim Hafenbau unter ganz gleichen Umständen gerade die entgegengesetzte Wirkung haben soll. In beiden Fällen baut man buhnenartige Werke, die vom Ufer aus in die See treten, und die in beiden Fällen das Strandgebiet wesentlich verändern und dadurch Veranlassung zu Verlandungen geben. Der Unterschied besteht nur darin, dass man in dem einen Falle die Verlandung beabsichtigt, und in dem andern sie vermeiden will. Dieses ist natürlich ohne Einfluss auf den Erfolg.

(Obwohl das nähere Eingehn in diesen Gegenstand in den eigentlichen Hafenbau gehört, so dürfte es doch angemessen sein, schon hier die Mittel zu bezeichnen, durch welche dem schnellen Verflachen der Hafenmündungen vorgebeugt werden kann. Man bemühe sich, den vorbeitreibenden Sand und Kies schon in angemessener Entfernung vor dem Hafen aufzufangen. Unter d

kleinen Häfen in Hinter-Pommern sind die Sand- und Kies-Ab-
angen vor Stolpmünde viel stärker, als vor Colberger- und Rū-
aldermünde. Die westwärts, also in derjenigen Richtung be-
en Ufer, woher der vorherrschende Küstenstrom so wie auch
eftigste Wind kommt, sind aber vor Stolpmünde am wenigsten
igt, und der Unterschied in dieser Beziehung ist so auffallend,
man einen gewissen Zusammenhang dieser beiden Umstände,
n sich sehr wahrscheinlich ist, wohl annehmen darf.

line zweite Vorsichts-Maafsregel ist, daß man eine möglichst
und tiefe Bucht vor derjenigen Mole, welche vom Küsten-
e getroffen wird, zu erhalten bemüht sein muß. Die Natur
elt zwar diese Absicht und oft in sehr kurzer Zeit, aber unter
Bedingung darf hier durch Zäunungen und Pflanzungen das
achsen des Strandes noch befördert werden, wie doch sehr oft
ieht. Zur Zeit westlicher Stürme fliegen große Sandmassen
die westlichen Molen der benannten Häfen, und so auch bei
münde. Sie bilden undurchsichtige dichte Staubwolken und
Zweifel fällt ein großer Theil dieser Massen in die Häfen,
und ein Theil auch über die östlichen Molen fortfliegt und also
ahrwasser nicht trifft. Um diese Versandungen möglichst zu
ndern, die man wohl jedesmal sehr überschätzt, pflegte man
westlichen Strand neben dem Hafen durch Bepflanzen mit Sand-
n zu befestigen, so weit dieses irgend möglich war. Hierdurch
die Sandablagerung noch schneller seewärts heraus geführt,
e sich schon in Folge der Küstenströmung ausdehnte. Das
, das man durch diese Pflanzung veranlaßte, war weit größer,
isjenige, welches man vermeiden wollte, und die Periode, in
er neue Strand den Kopf der westlichen Mole erreichte, trat
ein und die Hafenmündung wurde in gleichem Maasse der
ichtung früher Preis gegeben, als wenn man den Sand hier
aufgefangen hätte. Die Molen vor dem Hafen Swinemünde,
318 bis 1823 erbaut wurden, machen eine sehr glückliche Aus-
e von allen übrigen bei uns bisher ausgeführten ähnlichen An-
, da sie bisher keiner Verlängerung bedurft haben, und auch
wärtig ein Bedürfnis hierzu noch nicht eingetreten ist. Das
wasser in der Mündung hat noch die große Tiefe von 22 bis
fs. Die Ursache hiervon ist aber nur darin zu suchen, daß eine
und weite Bucht, der oft versuchten Pflanzungen an der West-

seite des Hafens ohnerachtet, noch besteht, und daß sich ein gekrümmtes Strandgebiet hier ausgebildet hat, welches den Küstestrom in die Richtung des aus dem Hafen tretenden Stromes leitet, so daß derselbe parallel zu diesem der See zufließt. Daß dieses Verhältniß wirklich besteht, beweist die Sandablagerung vor dem Kopfe der westlichen Mole, die unter Wasser die Fortsetzung der letzteren bildet. Dieser Hacken, der zu beiden Seiten von tiefem Wasser begrenzt wird, verfolgt sehr nahe die Richtung der Mole und fällt so sanft ab, daß er erst in der Entfernung von 260 Ruthen, vor ihrem Kopfe 12 Fuß Wasser über sich hat. Er verändert sich auch gegenwärtig noch fortwährend, wenn gleich sein weiteres Vorrücken nur sehr langsam erfolgt. Ein näheres Eingehen auf diese Bildung und die Beantwortung der Frage, ob dadurch der Hafen bedroht wird, gehört in den Hafenbau. Hier sollte nur der Nutzen der weiten und tiefen Uferbuchten an der Stromseite als ein Beispiel nachgewiesen werden.

Der wichtigste Umstand, von dem die Erhaltung der Tiefe des Hafens abhängt, ist endlich die Stärke des hindurchgehenden Stromes. Ein kleines Flüschen kann in seiner Mündung die für Schiffe erforderliche Tiefe nicht erhalten, wenn nicht etwa sehr gedehnte Binnenseen in geringer Entfernung damit in Verbindung stehn. Solche Seen nehmen bei jedem Wechsel des Wasserstandes der See große Massen in sich auf und lassen solche, später wieder abfließen. Die Kunst bietet nicht leicht Gelegenheit, um in dieser Hinsicht die natürlichen Verhältnisse zu ändern. Am meisten gelingt dieses noch, wenn ein starker Fluthwechsel statt findet, an der Ostsee nicht der Fall ist.

Es mag noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß die erforderliche Tiefe im Hafen selbst, durch Baggern erhalten werden kann, daß es also vorzugsweise nur auf die kräftige Strömung in der Mündung ankommt. Indem nun das Gefälle die Stärke der Strömung bedingt, so muß man dafür sorgen, daß in dem Hafen weite Durchflußprofile dargestellt werden, die das Wasser mit möglichstiger Geschwindigkeit, also mit sehr geringem Gefälle durchfließen lassen. Hierdurch wird der Vortheil erreicht, daß das vorhandene Gefälle sich in der Mündung concentrirt, und hier, wo ein Fluthwechsel wegen der Wellenbewegung nur selten arbeiten kann, die

jeder Verflachung durch den möglichst starken Strom wieder hergestellt wird.

Wie sehr der Nutzen eines kräftigen Stromes zur Sicherheit eines Hafens auch an sich klar ist, und wie übereinstimmend alle Erfahrungen ergeben, daß an einer Küste, vor der Sand- und Kiesmassen vorbeitreiben, ein Hafen nur möglich ist, wenn die Strömung seine Mündung offen erhält, so tritt dennoch immer wieder die Ansicht auf, und findet vielfach Geltung, daß die Ursache der Verflachung eines Hafens in dem durch den Strom abgeführten Sande zu suchen sei, und daß man also für die Erhaltung der Tiefe am besten sorgen könne, wenn dem Strom ein anderer Abfluß, als durch den Hafen, eröffnet wird. Wie diese Ansicht ist, ergibt sich deutlich aus der Erfahrung, daß an Meeresküsten, vor welchen Sand vorbeitreibt, niemals eine Verflachung findet, die ohne hindurchgehenden Strom sich frei erhält. Bei Mündungen von Bächen und kleinen Flüssen werden, wie erwähnt, bei Stürmen vollständig gesperrt und ein hoher Sandwall legt sich alsdann ohne Unterbrechung über sie fort. Unter dem Einfluß man aber das Material, das sich hier abgelagert hat, so überwiegt man sich leicht, daß es derselbe rein ausgewaschene Sand und Kies ist, der den anschließenden Strand bildet, während von Thontheilchen des Flußwassers keine Spur darin aufzufinden ist. Andererseits zeigt aber auch die Erfahrung, daß bei starken Übersässerungen, während die See ruhig ist, die Mündung niemals gesperrt wird, sondern im Gegentheile sich alsdann am vollständigsten ausbildet. Als vor einigen Jahren während heftiger Frühstürme die Mündung des Stolpmünder Hafens sich so zulegte, daß die Tiefe nur noch 3 Fuß betrug, konnte man sich augenblicklich von der Ursache dieser Verflachung überzeugen, da grobkörniger Kies, wie er auf dem dortigen Strande vorkommt, in der Mündung lag. Nichts desto weniger sollte nach der allgemeinen Meinung auch hier der Stolp-Fluß, der außer Thontheilchen nur feinen Sand abführt, diese Verflachung veranlaßt haben, und es wurde schon vorgeschlagen, diesem Flusse zur Seite des Hafens eine neue Mündung zu eröffnen, um in Zukunft einem ähnlichen Ereignisse vorzubeugen.

Glücklicher Weise hat solche Absicht, so oft sie auch ausgesprochen wird, und als sehr practische Idee gemeinhin Ansehen findet, dennoch vor der Ausführung gewöhnlich Bedenken regt und ist sonach nicht leicht auf die Probe gestellt worden. Viel bekannt, giebt es nur ein einziges Beispiel dafür, daß diesem Sinne wirklich und zwar am offenen Meere verfahren in dem Hafen von Ostium wurde unter dem Kaiser Claudius zur See-Mündung der Tiber erbaut, und nur durch einen Canal letzteren verbunden, die neben dem Hafen unmittelbar in das Meer ausmündete. Der Hafen, dem in dieser Weise die Durchströmung ganz genommen war, versandete bald und seine Trümmer gegenwärtig weit entfernt vom Meere.

Die internationale Commission, die 1858 in Paris zusammentrat, um über die Verbesserung der Donau-Mündungen zu berathen, ging wieder von der Ansicht aus, daß ein Fahrwasser, nicht durchströmt wird, auch der Gefahr der Verflachung unterliegt.*) Sie schlug daher vor, von demjenigen Donau-Arm der Haupt-Schiffahrtsarm sein solle, einen Schiffahrts-Canal das Ufer zu führen, denselben am obern Ende durch eine Damm gegen Durchströmung zu sichern und ihn zwischen Steindämmen in das Meer fortzusetzen, bis man die nöthige Fahrtiefe von 16 Fuß Engl. anträfe. Dieser Vorschlag fand bei den Vorarbeiten und der Ausführung beauftragten Beamten und verschiedenen dabei betheiligten Staaten sogleich den lebhaften Widerspruch. Dieselben machten weite Reisen, um sich von der Nöthigkeit der Erfahrungen, die jenem Beschlusse zu Grunde lagen, durch den Augenschein zu überzeugen, und so geschah es, daß die Ausführung in ganz entgegengesetzter Weise erfolgte.**)

Den Durchgang der Schiffe bestimmte Fahrwasser wurde der Durchströmung entzogen, sondern man bemühte sich, durch die künstliche Umschließung und Verengung den Strom darin zu verstärken. Dieses Mittel hat, wie Anfangs immer zu

*) Rapport de la Commission technique internationale convoquée pour l'examen des questions relatives à l'amélioration des bouches de la Danube. Paris 1858. Chap. V. Pag. 66.

***) Description of the Delta of the Danube and of the Works executed at the Sulina Mouth. Civil Engineer and Architect's Journal. Pag. 115.

pflegt, bereits sehr günstige Erfolge gehabt. Beim Beginne der Arbeiten im Jahre 1858 konnten nur Schiffe von 9 Fufs Tiefgang in die Sulina-Mündung einsegeln, 1861 dagegen solche von 16 Fufs und zeitweise sogar von noch größerem Tiefgange.

In gleicher Weise werden auch noch andere Projecte zu großartigen Hafen-Anlagen aufgestellt, deren Mündungen gleichfalls durch Schleusen geschlossen werden sollen, um die Durchströmung zu verhindern. Abgesehn von den sehr großen Erschwernissen der Schifffahrt, wenn jedes aus- und eingehende Schiff durchgeschleust werden muß, verzichtet man dabei auch auf das einfachste und wirksamste Mittel zur Offenerhaltung der Mündung. Wo starker Fluthwechsel statt findet, kann man freilich die Dockschleusen nicht leicht entbehren, aber selbst in diesem Falle findet vergleichungsweise zu den hier in Rede stehenden Häfen der wesentliche Unterschied statt, daß zur Zeit des Hochwassers die Thore geöffnet bleiben, also ein wirkliches Durchschleusen nicht vorkommt. Außerdem bemüht man sich, soweit es irgend thunlich, dabei noch eine gewisse Spülung einzurichten, die man hier absichtlich verhindert, wiewohl die localen Verhältnisse dazu oft Gelegenheit bieten.

Wenn diese Häfen auch nicht am offenen Meere, sondern an sehr geschützten Meeresbuchten liegen, wo starke Versandungen nicht zu besorgen sind, so fehlen letztere doch an sandigen Ufern niemals ganz. Man führt zuweilen den Hafen von Danzig als Beispiel einer gelungenen Anlage dieser Art, an. Der Hafen Neufahrwasser liegt aber eines Theils nicht am offenen Meere, und so dann hat gerade hier die Erfahrung gezeigt, daß die Beseitigung einer starken Durchströmung die Mündung keineswegs vor Versandungen schützen konnte. Dieser Hafen besteht in einem Canale, der linkseitig kurz vor der früheren Mündung der Weichsel aus derselben abgeht. Als man gegen das Ende des siebenzehnten Jahrhunderts den Schiffahrtsweg seitwärts verlegt, und bald darauf an seinem obern Ende eine Schleuse erbaut hatte, um die Schiffe gegen den Eisgang der Weichsel sicher zu stellen, war derselbe bis zum äußersten Ende des auf der Nordseite erbauten Schutzdammes nur etwa 200 Ruthen lang, und gegenwärtig sind die beiderseitigen Einlassungen, die Anfangs jedesmal frei liegende Hafendämme waren, so weit ausgedehnt, daß der Kopf des östlichen Dammes mehr als 100 Ruthen von der ehemaligen Schleuse entfernt ist. Die geschicht-

lichen Nachrichten weisen auch nach, daß man vielfach theilweise Verlängerungen der Hafendämme vornehmen mußte.*)" Wenn in den letzten dreißig Jahren weitere Verlängerungen nicht vorgekommen sind, und voraussichtlich auch in Zukunft entbehrlich sein werden, so rührt dieses aber allein von der sehr geschützten Lage der Hafenmündung her, vor der ein kräftiger Dampfbagger mit seltenen Ausnahmen den ganzen Sommer hindurch arbeiten kann, und auch wirklich sehr häufig arbeitet und die Sandablagerungen beseitigt.

Wenn ein Binnensee oder eine zusammenhängende Kette von solchen an zwei verschiedenen Stellen mit dem Meere in Verbindung steht, so kann es sich ereignen, daß bei gewissen Winden eine dauernde Durchströmung statt findet. An derjenigen Mündung, die vom Winde getroffen wird, wo also der Spiegel der See sich erhebt, tritt das Wasser ein, und da gerade hier in Folge des starken Wellenschlages alsdann auch der Sand in Bewegung gesetzt und von einer oder der andern Seite längs dem Strande herbeigeführt wird, so folgt er dem Strome. Wenn er auch nicht in der engen Mündung liegen bleibt, so geschieht dieses doch unmittelbar dahinter, wo das Profil sich erweitert. Diese nachtheilige Einströmung ist aber anhaltend, weil das Wasser auf der andern Seite abfließt, es werden daher, so lange der Sturm anhält, immer neue Sandmassen hinein geworfen. Die Ausströmung dagegen, die wegen des reinen Wassers, das sie abführt, von besonderer Wichtigkeit für die Erhaltung der Tiefe ist, bleibt sehr mäßig und kann nicht lange anhalten, weil das eingetriebene Wasser schon auf der andern Seite abgeflossen ist.

Will man in solchem Falle günstigere Verhältnisse herbeiführen, so muß man eine Oeffnung ganz oder wenigstens zeitweise schließen. Diejenige Oeffnung, welche die eigentliche Hafenmündung bildet, muß jedenfalls den ausgehenden Strom behalten, wird diese also mit einer Schleuse versehen, so darf solche nur während heftiger und anhaltender Einströmung geschlossen werden. Viel vortheilhafter ist es, die andre Oeffnung, oder an irgend einer passenden Stelle die innere Verbindung zu sperren. Will man hier aber die Binnen-Schiffahrt erhalten, so hindert nichts, eine entspre-

*) Geschichte der Veränderungen des Danziger Hafens, von Severin, in den Bau-Ausführungen des Preussischen Staates. Band I. Seite 86 ff.

leine Schiffs-Schleuse mit vier Thorpaaren zu erbauen, den höheren Wasserstand auf beiden Seiten abhalten kann. Dann dasselbe sehr vortheilhafte Verhältniß herbeigeführt, ein Binnensee mit einer einzigen Oeffnung hinter dem liegt, und man hat nur dafür zu sorgen, daß dieser See die größte Ausdehnung behält.

Angenommen die beiderseitigen Oeffnungen bestehn, so ist in der That eine derselben der Gefahr der Verlandung in hohem Grade ausgesetzt. Die Formation der beiden schmalen Landzungen, die bei A und der Schmalen Heide, auf der Ostseite der Insel, von denen schon die Rede war, läßt deutlich erkennen, daß sie als Nehrungen ausgebildet haben, also aus früheren Meeren hervorgewachsen sind. Vor ihrer Entstehung standen Inseln, die jetzt allein auf der Westseite, also der Insel Rügen gegenüber, mit dem Meere verbunden sind, auch auf der Ostseite mit demselben in Verbindung. Diese Oeffnungen haben sich selbst geschlossen. In manchen Fällen erhalten sich selbst Inseln, die keinem merklichen Fluthwechsel unterworfen sind, und sogar mehrere Oeffnungen, doch geschieht dieses nur, wenn die Wasserflächen sehr große Längen-Ausdehnung haben und unter sich sehr auffallend in verschiedene Abschnitte getheilt sind. Das Frische Haff in Ost-Preussen, von dem ein Theil in der Abbildung dargestellt ist, hat in früherer Zeit noch in der Nähe von A bei A, und dem Leysuhner Hacken gegenüber bei B mit dem Meere in Verbindung gestanden, und sowol nach den historischen Nachrichten, als auch nach der Gestalt und Beschaffenheit der Inseln leidet es keinen Zweifel, daß hier wirklich Verbindungen mit dem Meere existirten. Sie bestanden indessen nicht gleichartig, vielleicht war das Haff damals noch durch zwischenliegende Landzungen in mehrere Theile getrennt. Das gegenwärtige Frische Haff bildete sich erst aus, nachdem das sogenannte Balte Haff bei B sich bereits sehr verflacht hatte, wozu nach den historischen Nachrichten die Versenkung von mehreren Schiffen beigetragen haben soll.

Das Curische Haff hat, soviel bekannt, stets nur eine Verbindung mit dem Meere gehabt, und zwar dieselbe, die noch existirt, wenn auch durch Verlängerung der Nehrung im Laufe der Zeit weiter vorwärts gerückt zu sein scheint.

Das Frische Haff in Pommern hat dagegen drei Verbindungen mit der See: die Peene, die Swine und die Dievenow. Seine Längen-Ausdehnung mißt 6 Meilen, und wenn man das Achterwasser hinzurechnet, sogar 10 Meilen. Aus letzterem ergießt sich die Peene in das Meer, die Dievenow dagegen aus einem durch hohe Untiefen getrennten Theile des Haffes, die Paulsdorfer Bucht genannt, und aus dem Kamminer Bodden, während die Swine das Wasser aus dem eigentlichen Haff, das wieder in das kleine und das große Haff zerfällt, abführt. Alle drei Ausmündungen sind langgestreckte Stromarme, während an mehreren andern Stellen nur schmale und niedrige Sandstreifen das Haff vom Meere trennen, wie bei Misdroy und bei Koserow.

Der Greifswalder Bodden, der freilich keine große Längen-Ausdehnung hat, mündet sowol an der östlichen, wie an der westlichen Seite der Insel Rügen in die See. Dieser Umstand verhindert, daß bei gewissen Winden das Wasser auf der äußern Seite sich ausgleichen kann, und hat daher Veranlassung gegeben, daß das lange und vielfach gekrümmte Fahrwasser, das bei Stralsund vorbeiführt, sich dauernd erhält, wiewol die Wassertiefe, welche die Schifffahrt fordert, hier in größerem Maasse, als gewöhnlich geschieht, durch Baggerung dargestellt ist und erhalten werden muß.

Endlich verdient noch die 7 Meilen lange Kette von Seen Erwähnung, die im Norden von Stralsund, südlich von der Insel Hiddins-Oe beginnt und sich bei Barth vorbei bis Ribnitz im Mecklenburgischen erstreckt. Auf der Ostseite hat sie eine weite Mündung in die Proner Wiek vor der Insel Rügen und daneben ist sie nur durch eine hohe Sandbank, von nahe 1 Meile Länge, der Bock genannt, von der offenen See getrennt. Diese Bank, obwohl vielfach von etwas tieferen Rinnen unterbrochen, liegt nahe in der Höhe des gewöhnlichen Wasserspiegels der See. Außerdem existirt noch eine andere Verbindung mit der See, nämlich der Prerow-Strom, der etwa eine Meile lang und sehr gekrümmt ist. Er führt gewöhnlich große Wassermassen in kräftiger Strömung ab und mündet auf der Ostseite von Darßer-Ort. Soweit die historischen Nachrichten reichen, hat er stets, obwohl mit vielfachen Veränderungen seines Laufes, existirt. Die schmale Landzunge, das Fischland genannt, welches bei Wustrow auf der Westseite den Saaler Bodden (den letzten in dieser Seenkette) von der Ostsee trennt, liegt zum Theil so

daß das Hochwasser hinübertritt, und es zeigen sich darin
 ren von künstlichen Anlagen, die vermuthen lassen, daß
 eine schiffbare Verbindung hier darzustellen versucht hat. Bei
 der Lage dieser Küste sind indessen durch den hinzutreiben-
 der die Verbindungen der beiderseitigen Wasserflächen immer
 bald geschlossen.

denjenigen Meeren, in welchen die Fluth und Ebbe stark
 kommen Haff-Bildungen mit vorliegenden Nehrungen nicht
 zu, oder letztere sind vielfach durchbrochen, woher sie sich
 in Reihen verwandeln. An der westlichen Küste von Nord-
 amerika sieht man die Nehrungen noch sehr vollständig ausgebildet,
 wo der Fluthwechsel nur 1 oder 2 Fuß beträgt. Dieses ist der
 Fall an den Ufern der Staaten Florida, Indiana, und weiterhin wie-
 der Cap Hatteras in Nord-Carolina, so wie in geringerem Maasse
 in New-Yersey und Long-Island, obwohl der Fluthwechsel hier
 10 Fuß mißt. In den zwischenliegenden Strecken, woselbst
 er bis 7 und 8 Fuß ansteigt, bemerkt man dagegen sehr
 viele Unterbrechungen in solchen Landzungen, so daß jedes da-
 liegende Haff eine große Anzahl von Mündungen hat.

Sehr auffallend tritt diese Erscheinung auch in der Nordsee
 besonders in der langen Inselreihe, die mit Texel beginnt und
 über 30 Deutsche Meilen weit bis Wangeroog vor der Mündung
 der Elbe hinzieht. Diese Inseln zeigen auf der Seeseite die voll-
 ständige Dünenbildung und wenn sich im Innern zuweilen auch
 ein harter und culturfähiger Boden vorfindet, so darf man ihre
 Entstehung doch nicht von der ursprünglichen Formation des Bodens
 ableiten, vielmehr ist anzunehmen, daß bei dem starken Fluthwech-
 seln einzelne Rinnen, die vielleicht zufällig zwischen ihnen entstan-
 den, wegen der immer wiederkehrenden starken Durchströmung sich
 erweiterten und nicht wieder schlossen, bis endlich eine voll-
 ständige Trennung erfolgte. Auch vor der Küste von Schlesien
 wiederholt sich, namentlich neben der langgestreckten Insel Sylt
 eine ähnliche Erscheinung.

Der vor dem Strande vorbeistreichende und darauf aufgeworfene
 Sand bleibt zum Theil nicht dauernd ein Spiel der Wellen, und na-
 mentlich vor geschützten Ufern häuft er sich von selbst an. Ihn
 zu fangen, regelmäfsig abzulagern und zu befestigen, ist vorzugs-
 weise der Zweck des Dünenbaues, der später ausführlich behan-

delt werden wird. Doch bleibt dieser Sand keineswegs immer auf dem Strande, vielmehr wird er, bevor er bewachsen ist, bei heftigen Seewinden, wenn dieselben auch mit Regen verbunden sind, landwärts getrieben. Große Massen Sand überdecken alsdann, oft in Entfernungen bis zu einer halben Meile den Boden und nehmen ihm seine Ertrags-Fähigkeit, oft auch bildet er hier weit ausgedehnte, ganz kahle Sandschellen, von wo er wieder, vom Winde in Bewegung gesetzt, weiter getrieben wird. Besonders auffallend ist es, daß hohe und steile Ufer diesem Sandfluge kein Hinderniß entgensetzen, vielmehr gerade solche ihn vorzugsweise zu begünstigen scheinen. Wenn ein starker Seewind diese Ufer trifft, so erzeugt derselbe vor dem Fusse einen bedeutenden Druck, und indem die comprimirte Luft keinen andern Ausweg als nach oben findet, so entsteht eine heftige aufwärts gerichtete Luftströmung. Diese giebt sich schon durch das Gefühl sehr auffallend zu erkennen. Wenn man unmittelbar auf dem Rande eines steilen Abhanges steht, so ist man vor dem Sturme geschützt, obwohl kein Gegenstand hier den Wind abhält und man gerade hier dem Sturme in seiner größten Stärke ausgesetzt zu sein glauben sollte. Die aufwärts gerichtete Strömung setzt aber noch über das Ufer hinaus ihre Bewegung fort, und so geschieht es, daß sie nicht plötzlich ihre Richtung verändert, vielmehr erst in einiger Höhe über der steilen Dossirung horizontal abgelenkt wird. Ueber dem hohen Ufer tritt daher eine auffallende Ruhe ein.

Dieser aufwärts gerichtete heftige Luftstrom reißt nun den Sand mit sich fort, und führt ihn auf das hohe Ufer. Zur Zeit eines Sturmes ist dasselbe in diese Sandmasse so dicht eingehüllt, daß es mit einem starken Nebel bedeckt erscheint. In dieser Weise ist der Streckelberg, drei Meilen westwärts von Swinemünde, der sich etwa 150 Fuß über die See erhebt und aus festem Thonboden besteht, bis 20 Fuß hoch mit Seesand überdeckt, und in gleicher Weise bemerkte ich an der Portugisischen Küste, wo vor den steilen Felsufern ein Strand sich gebildet hatte, in der Höhe von einigen hundert Fußsen darüber ausgedehnte Sandschellen.

Wesentlich anders als am offenen Meere erfolgt die Uferbildung in tiefen und geschützten Buchten oder in Binnenseen, die mit dem Meere in Verbindung stehn. Sehr auffallend zeigt sich dieser Unterschied in den beiden Mündungen der Weichsel. Der

in, der diesen Namen beibehält und sich ostwärts von Danzig in die Ostsee ergießt, setzt vor seiner Mündung nur reinen Sand ab, und zwar geschah dieses in der früheren Mündung eben so wohl, als der jetzigen. Der andere Arm dagegen, die Nogat, der in das hiesige Haff eintritt, bildet im letzteren Niederschläge, die aufser dem Sande auch eine Masse thoniger und vegetabilischer Theile enthalten, und die daher im Laufe der Zeit zu sehr fruchtbaren Niederungen anwachsen. Wie schnell das Land emporwächst, ist bereits im ersten Theile dieses Handbuches, §. 25, nachgewiesen. Die Vergleichung mit älteren Charten ergab, daß das Ufer zwischen den Jahren 1794 und 1838 jährlich um $11\frac{1}{2}$ Ruthen vorgerückt war. In unserer Zeit hat dieses Vorschreiten wahrscheinlich sich sehr verändert, da bei Gelegenheit der Ueberbrückung beider Arme die Vertheilung des Wassers vor der Montauer Spitze so gemacht ist, als nur noch ein sehr geringer Theil desselben der Nogat zugewiesen wird.

Ohne Zweifel führten beide Arme, die Weichsel, wie die Nogat, stets dasselbe Wasser ab, das zur Zeit der Anschwellung des Stromes in beiden gleichmäfsig mit Sand, Thon und andern Bestandtheilen versetzt war. Sobald es aber durch die Weichsel-Mündung in die See trat, wurde der Niederschlag sogleich durch die Wellenbewegung ausgewaschen und grosentheils fielen die feinen Theilchen gar nicht zu Boden, folgten vielmehr dem Strome soweit, bis sie endlich zu einer Tiefe herabsanken, wo sie von den Wellen nicht mehr berührt werden. Vor dieser Mündung konnten also nur die schweren Theilchen liegen bleiben, die bei der schwächeren Strömung zu Boden sanken. Im Haff dagegen, wo nur selten, und in dieser Gegend sogar nur mäßiger Wellenschlag eintritt, kann das Wasser sich viel vollständiger klären, so daß auch thonige und vegetabilische Theilchen niederschlagen. Die Erscheinung ist demnach hier wesentlich von derjenigen verschieden, die man am offenen Meere bemerkt. Das Ufer wächst in Binnenseen vor den Strommündungen an, und der neue Anwuchs ist nicht nur Sand, sondern fruchtbarer Boden.

In tiefen und geschützten Meeresbuchten wiederholt sich dieselbe Erscheinung aus gleichem Grunde, obwohl hier die Sandabgerungen doch schon viel reiner zu sein pflegen. Wo sich aber nur reiner Sand vorwirft, da ist es zweifelhaft, ob derselbe durch

den Strom oder durch das Meer herbeigeführt wurde. Dafs letzteres in weite Strommündungen Sand eintreibt, ergiebt sich schon aus dem, was oben über die Abschliessung der Oeffnungen in Strände gesagt ist. Es mufs hinzugefügt werden, dafs solche Sandablagerungen in grossem Maasse auch an den Binnenseiten der Ausmündungen der Haffe vorkommen, durch welche doch gewifs kein Sand aus den einmündenden Flüssen und Strömen herbeigeführt werden kann, weil solcher bei der überaus geringen Geschwindigkeit nothwendig schon früher niederfallen mufste. Der Sand, den man in den Haffen vor ihren Ausmündungen findet, kommt also nicht aus dem Binnenlande und aus den Flüssen, sondern aus der See. Dieses zeigen die darin befindlichen Seemuscheln. Beim Aufbaggern der Fahrrinne in der Fortsetzung der Swine, also im Hafenselbst, gab die nähere Untersuchung des gehobenen Sandes dies deutlich zu erkennen.

Eine besondere Erwähnung verdient endlich noch die Entstehung der fruchtbaren Flächen, die man Marschen nennt, und die aus dem Meeresboden emporwachsen, ohne dafs ein Strom in der Nähe die feinen Erdtheilchen vom Binnenlande her herbeiführt. Diese Erscheinung wiederholt sich nur an solchen Stellen, wo seewärts in grosser Ausdehnung fruchtbarer Boden unter Wasser liegt, also weite Flächen aufgeschwemmten Landes durch das Meer in früheren Zeiten zerstört sind. Sobald das darüber stehende Wasser durch Wellenschlag und Strömung bewegt wird, so löst es die feinen Theilchen der Oberfläche, hebt sie und nimmt deren so viel in sich auf, dafs es stark getrübt wird. Wenn alsdann eine heftige Strömung dieses Wasser in geschützte Busen oder Buchten führt, wo es bei eintretender Ruhe die Erde fallen läfst, und wenn derselbe Vorgang in kurzen Zwischenzeiten sich immer wiederholt, ist es erklärlich, dafs der Boden schnell aufwachsen mufs. Die Bedingungen können nur erfüllt werden, wo ein starker Fluthwechsel statt findet, und wo geschützte Meeresbusen dabinter liegen. Beispiele hiervon sind der Dollard an der Mündung der Ems und der Jade-Busen. Ich habe bereits erwähnt, dafs der Thonboden unter der Sandablagerung, welche die Insel Wangeroog bildet, im kleinsten Wasser zu Tage tritt. Mit den thonigen Theilchen schwimmt also das Seewasser sowol hier, als auch noch mehr in den Watten innerhalb der Inselreihe, und indem es bei der F

Die erwähnten beiden Busen füllt, so führt es ihnen große Erdmassen zu, von denen nach den an der Jade-Mündung angestellten Messungen ein sehr bedeutender Theil daselbst zurückbleibt oder den Boden erhöht. Diese weichen und niedrigen Thon-Ablagerungen, die zur Zeit des niedrigsten Wassers daraus hervortreten, nennt man *Watte*. Sie wachsen immer mehr an und bald bildet sich einige Vegetation darüber, die den weiteren Niederschlag durch die größere Ruhe und in Folge dieser durch die vollständigere Abklärung des Wassers noch mehr befördert. Sobald der Boden höher anwächst, wird aber die darüber tretende Wasserschicht immer niedriger, und hierdurch vermindert sich die Masse der aus ihr herabsinkenden erdigen Theilchen. Hat der Boden endlich die Höhe der gewöhnlichen Fluthen erreicht, so wächst er nur noch unmerklich weiter. Er ist alsdann zur Eindeichung geeignet.

Obwohl in diesen Fällen die Fluth in Verbindung mit dem Wellenschlage und den Strömungen, die sie veranlaßt, sehr fruchtbare Alluvionen erzeugt und große Landesflächen aus dem Meere hervortreten läßt, so können dennoch, und zwar an eben diesen Stellen, ihre Wirkungen mit den äußersten Zerstörungen verbunden sein. Solche Ereignisse sind zwar ohne Zweifel zum Theil dadurch veranlaßt, daß die Eindeichungen vorgenommen waren, bevor das Land die nöthige Höhe erreicht hatte, nichts desto weniger trocknet der Boden mehr aus, sobald er durch Deiche geschützt ist, und sinkt daher tiefer herab, so daß er nach längerer Zeit wieder unter der gewöhnlichen Fluthhöhe liegt, und daher vollständig vom Hochwasser bedeckt werden würde, wenn dieses Zutritt fände. Dieses geschieht bei Deichbrüchen, und das Einlaufen des Wassers bei der Fluth, wie das Auslaufen desselben bei der Ebbe veranlaßt sehr heftige Strömungen, die um so stärker und gefährlicher sind, je weiter die Fläche sich ausdehnt, die abwechselnd immer gefüllt und entleert wird. Die Zerstörungen sind aber besonders groß, wenn der Boden als Ackerland benutzt wird, und seine Oberfläche deshalb aufgelockert ist und keinen Schutz in festem Rasen findet. Wo Deichbrüche vor einem der Fluth und Ebbe unterworfenen Gewässer eingetreten sind, muß man mit Aufbietung aller Kräfte sich beeilen, die Deiche möglichst schnell wieder zu schließen, weil die Zerstörung nicht nur von 6 zu 6 Stunden sich immer wiederholt,

sondern auch immer nachtheiliger wird, indem tiefe Rinnen sich ausbilden, welche den Zu- und Abfluss erleichtern und dadurch verstärken.

In früherer Zeit, als das Deichwesen noch nicht gehörig geordnet und für schleunige Instandsetzungen noch nicht gesorgt war, sind wiederholentlich Zerstörungen eingetreten, welche heutiges Tages unglaublich erscheinen und jede Vorstellung übertreffen. Von der Verwandlung des Süd-Holländischen Waards in ein weites und tiefes Binnenwasser ist schon früher (im zweiten Theile dieses Handbuchs §. 72) die Rede gewesen. Eben so soll der Dollard, der vor den später darin erfolgten Verlandungen etwa 7 Quadratmeilen enthielt, durch den Bruch eines Ems-Deiches im Jahre 1277 entstanden sein. Einige dreissig Städte und Dörfer befanden sich auf der zerstörten Landfläche.*)

Auch der Busen der Jade entstand durch wiederholtes Eindringen der Fluthen in ein reiches und bevölkertes, bereits eingedeichtes Land. Am 17. November 1218 erfolgte vorzugsweise ein solcher Einbruch, wodurch sieben Kirchspiele theils zerstört und theils vom festen Lande getrennt wurden. Die Ueberlieferungen erwähnen vorzugsweise der Klöster und Kirchen, die ihren Untergang dabei fanden. Die vereinzelt übriggebliebenen Theile der Dörfer wurden verlassen, weil die wenigen Bewohner derselben nicht im Stande waren, sich gegen die Fluthen zu schützen. Die Abgeordneten der sieben Seelande faßten hierauf den Beschluß, daß in dringenden Fällen die benachbarten Dorfschaften Hülfe leisten sollten. Dieses war vielleicht das erste Beispiel eines ausgedehnten Deichverbandes. Nichts desto weniger wurde dem Andrang der Fluthen doch keine Grenze gesetzt, und der Busen gewann im Laufe der Zeit immer grössere Ausdehnung. Namentlich trat wieder am 17. Januar 1511 bei der sogenannten Antoni- oder der Eis-Fluth eine übermässige Zerstörung ein. Ein heftiger Orkan löste plötzlich das Eis, und trieb grosse Schollen gegen die Deiche, die dadurch brachen. Eine Menge Dörfer und unter diesen auch Oberahn, von dessen Feldern noch ein kleiner Theil als Insel im Jade-Busen

*) Sehr ausführliche Nachrichten findet man hierüber in dem Werke „der Dollard“ von Stratingh und Venema. Groningen 1855.

wurde damals zerstört, so wie auch das Dorf Band, von
n Kirche man die Ruinen vor dem Preussischen Jade-Gebiete
sehn kann. Das Jeverland wurde damals vom Lande Olden-
vollständig getrennt, indem die Breite des Busens sich auf
drei Deutsche Meilen ausdehnte.*) / Seit jener Zeit sind durch
ionen grosse Flächen rings um den Busen und namentlich an
estlichen Seite wieder gewonnen.

von Halen, Geschichte des Herzogthums Oldenburg. Theil I, Seite 186
8.

Zweiter Abschnitt.

Eindeichungen am Meere.

§. 13.

See - Deiche.

Die Eindeichungen am Meere sind von denen an den oberen Strömen (Theil II. dieses Handbuches §. 129) in mancher Beziehung wesentlich verschieden. Vorzugsweise bedingt der durch Fluth und Ebbe in kurzen Zwischenzeiten veranlasste Wechsel des Wasserstandes eine andre Behandlung der See-Niederungen oder See-Marschen. Solche kommen überhaupt nur an denjenigen Meeren vor, wo ein starker Fluthwechsel statt findet. An den Ufern der Ostsee sind sie nirgend vorhanden. Wenn zuweilen, wie etwa in der Danziger Binnen-Nehrung die fruchtbare Weichsel-Niederung sich bis nahe an die See ausdehnt, so liegt hier doch eine hohe Düne darzwischen, welche jede Einwirkung der See aufhebt und die Eindeichung und Entwässerung der Polder allein vom Verhalten der Weichsel abhängig macht. Wenn dagegen die Deiche einzelner Polder stellenweise den Haffen sich nähern, so sind sie zwar unter Umständen einem stärkeren Angriffe ausgesetzt, als Flußdeiche, aber der Unterschied ist nicht so groß, daß sie nicht als solche angesehen werden könnten.

Der Fluthwechsel gewährt für die Entwässerung den sehr großen Vortheil, daß das Binnenwasser nicht etwa nur bis zum mittleren Stande des Meeres, sondern bis nahe auf Niedrigwasser gesenkt werden kann. Außerdem giebt der Fluthstrom, wie bereits erwähnt, vielfach zum Entstehen neuer und fruchtbarer Landflächen Veranlassung, und bei Eindeichung derselben wird man, wenn nicht etwa die Spülung eines Fahrwassers oder Hafens in Betracht kommt, durch die Rücksicht auf Erhaltung einer gewissen Profilweite nicht beschränkt. Andererseits sind die Seedeiche, so wie auch die darin

liegenden Siele, oder Entwässerungsschleusen, einem ungleich stärkeren Wellenschlage ausgesetzt, als Flusdeiche, und das Bedürfnis ihrer vollständigen Sicherung ist um so dringender, als beim Brechen von Seedeichen, wenn die Oeffnungen nicht sogleich geschlossen werden, die Niederungen durch das Ein- und Ausströmen des Fluthwassers einer vollständigen Zerstörung Preis gegeben werden.

Am offenen Meere kommen nicht leicht Deiche vor. Aufschlickung findet hier nicht statt, es bilden sich daher auch keine neue Marschen. Wo solche aber aus früheren Perioden vorhanden sind, und das Meer nach und nach die Ufer abgebrochen hat, tritt die Nothwendigkeit ein, das Uebertreten des Hochwassers zu verhindern und zugleich die vorhandenen Ufer gegen ferneren Abbruch zu schützen. In welcher Weise der letzte Zweck zu erreichen, wird später behandelt werden, dem Uebertreten des Hochwassers kann man aber nur durch Deichanlagen begegnen. Gewöhnliche Deiche haben indessen nicht die erforderliche Haltbarkeit, um dem vollen Wellenschlage zu widerstehn, man muß daher in solchem Falle ganz ungewöhnliche Schutzmittel anwenden, wie etwa bei dem Deiche geschehn ist, der sich von der Mündung des Hafens Nieuwen-Diep beim Helder vorbei bis zu den Dünen des westlichen Strandes von Nord-Holland hinzieht. Derselbe ist über Wasser bis gegen die Krone mit schweren Steinen gepflastert und unter Wasser durch eine starke Steinschüttung bis zum Grunde gedeckt. Man kann aber kaum von diesem Deiche sagen, daß er am offenen Meere liegt, er begrenzt vielmehr nur das Marsdiep, oder das Fahrwasser, das sich zwischen Holland und der Insel Texel hinzieht. Einige Meilen weiter südwärts, bei Petten, ist das Ufer, das ganz frei am Meere liegt, sehr stark abgebrochen, und auf der Binnenseite begrenzt es den reichen und sehr fruchtbaren Polder Zype. Uferschutz-Werke von großer Bedeutung sind hier ausgeführt, und ein Sanddeich hinter denselben sichert das Land gegen Ueberfluthung. Statt eines gewöhnlichen Deiches hat man also eine künstliche Düne gebildet. Dasselbe ist auf der Nord- und Südseite der Mündung der Wester-Schelde an verschiedenen Stellen geschehn.

Eigentliche Seedeiche kommen nur in Meeresbuchten oder an solchen Ufern vor, die durch Inselreihen und ausgedehnte hohe Wattgründe vor dem stärksten Wellenschlage geschützt sind. Di

ganz Nordsee-Küste von der so eben erwähnten Ecke in Nord-Holland an, den Mündungen der Weser und Elbe vorbei, längs Holstein und Schleswig bis Jütland hin, liegt hinter Inseln oder weit ausgedehnten Watten, und hier ist das Land fast überall niedrig und durch Deiche geschützt, indem das wasserfreie höhere Terrain, oder die Geest, nur selten an das Meer tritt. In den Buchten dieses Küstenstriches, so wie auch an einzelnen, besonders geschützten Strecken desselben, zeigen sich starke Alluvionen und ein fruchtbarer Boden wächst empor, der, sobald er die nöthige Höhe und angemessene Breite erreicht hat, eingedeicht und dem festen Lande angeschlossen wird.

In den untern Stromstrecken findet, wie bereits erwähnt, Ebbe und Fluth gleichfalls statt, auch sind die Mündungen so weit, daß der heftige Wellenschlag der See hineintritt. Die Deichverhältnisse sind daher hier dieselben, wie in jenen Buchten, und man muß die Deiche an den untern Strom-Theilen als Seedeiche behandeln. Die Grenze zwischen Fluß- und Seedeichen läßt sich nicht scharf bezeichnen. Gemeinhin nimmt man an, daß sie an derjenigen Stelle liegt, wo die Rückströmung der Fluth gewöhnlich aufhört, wo also nur ein geringer Fluthwechsel statt findet.

Im Allgemeinen stimmt die Anordnung und Ausführung der Seedeiche mit der der Flußdeiche nahe überein. Aus dem, was bereits erwähnt ist, ergibt sich aber schon, daß neue Eindeichungen am Meere häufiger vorkommen, als an den obern Strömen. An letzteren hat man schon in früherer Zeit die Eindeichungen so weit ausgedehnt, als irgend zulässig war, ja man ist sogar häufig weit über dieses Maas hinausgegangen. In neuerer Zeit bezieht sich daher der Deichbau an Strömen mehr auf die Regulirung und angemessene Verbindung solcher älteren Anlagen, als daß man ausgedehnte Niederungen, die bisher offen waren, noch eindeichen und in Polder verwandeln könnte. Dieses ist wenigstens in denjenigen Ländern der Fall, die seit Jahrhunderten cultivirt sind.

Am Meere und eben so auch an den weiten Strommündungen ist das Verhältniß ein ganz anderes. So oft nicht etwa die Rücksicht auf Erhaltung des Fahrwassers es verbietet, darf man die Eindeichungen weit ausdehnen, ohne daß eine Besorgniß wegen der Beschränkung des Profiles sich rechtfertigen ließe. Wo daher weite Alluvionen sich gebildet haben, kann gewöhnlich auch

eine neue Eindeichung vorgenommen werden. Die Rücksichten, welche man hierbei zu nehmen hat, sollen im Folgenden ausführlich erörtert werden. Dieser Fall wiederholt sich aber nicht nur am Dollard und an der Jade in ziemlich kurzen Zwischenräumen, sondern auch im Königreich der Niederlande sind noch in neuester Zeit eine Menge Eindeichungen ausgeführt. So ist vor wenig Jahren der Anna-Paulowna-Polder in Nord-Holland, der Insel Wieringen gegenüber, entstanden, und es ist Absicht, selbst diese Insel durch einen neuen Polder mit dem festen Lande zu verbinden. Auf der östlichen Seite der Insel Texel sind vor zwanzig Jahren neue Eindeichungen vorgenommen. Auch in der Provinz Groningen sind zwischen dem Busen, der Laauwer-See genannt, und dem Dollard während der letzten dreißig Jahre sehr große Landflächen gewonnen.

Der Umstand, daß man bei Seedeichen die Verengung des Profils nicht berücksichtigen darf, bietet eine wesentliche Erleichterung in ihrer Anlage. Hieraus ergibt sich aber noch ein anderer, ebenso wichtiger Vortheil, in sofern nämlich kein Seedeich das Durchfluß-Profil in nachtheiliger Weise beschränkt, so verursacht er auch keinen Stau, und erhöht also nicht den Wasserstand des Hochwassers. In dieser Beziehung ist man wegen der zu wählenden Kronenhöhe weit weniger in Ungewissheit, als bei neuen Eindeichungen an Strömen, oder bei der Abschließung von Fluthrinnen neben den letztern. Der bisher beobachtete höchste Wasserstand ist für die neue Eindeichung an der See unbedingt maßgebend, und die daneben liegenden ältern Deiche werden auch keinem vermehrten Stau durch sie ausgesetzt, während an den Flüssen jede Verengung des Fluthprofils einer gewissen Vergrößerung des Gefälles, und sonach einer Erhebung des Oberwassers entspricht. Unter ungünstigen Umständen, und namentlich wenn schwere Eisversetzungen sich gebildet haben, giebt es in der That bei eingedeichten Strömen keine Grenze der Anschwellung. Dieselbe nimmt bei dauerndem Zuflusse immer mehr zu, bis sich endlich durch einen Deichbruch ein Abfluß eröffnet. Die Wassermenge, welche abgeführt werden muß, ist in diesem Falle eine bestimmte Größe, während der Seedeich, selbst neben der Mündung eines Stromes oder eines ausgedehnten Busens, die Einströmung in gleicher Weise hemmt, wie die Ausströmung. Er hat daher, wenn man die Beschränkung des Pro-


da, die er verursacht, berücksichtigen will, den Erfolg, daß etwas weniger Wasser aus- und einströmt, doch dürfte diese Wirkung in den Fällen unmessbar klein bleiben. Hier sollte nur darauf aufmerksam gemacht werden, daß der Erfolg auch bei merklicher Grösse nicht unbedingt nachtheilig ist.

Wie wenig diese Ansicht auch einem Zweifel unterliegen kann, hat sie dennoch keineswegs immer gegolten, und ein höchst auffallendes Beispiel einer ganz entgegengesetzten Auffassung war der genannte Rheinländische Slaperdeich zwischen Amsterdam und Haarlem. Die Stadt Amsterdam erlaubte nämlich nicht die Erhöhung dieses Deiches, weil man meinte, daß die Fluthen in dem Y nachtheiliger Weise sich erhöhen möchten, wenn nicht eine Enttöpfung in das Haarlemmer Meer statt fände. Zu diesem Zwecke blieb der Deich bis zum Anfange dieses Jahrhunderts so niedrig, daß das Wasser bei gewissem hohen Stande sich darüber ergoß. Erst geschah dieses nur in der Höhe von wenigen Zollen, doch soll es zuweilen 3 Fuß hoch darüber geflossen sein. Man überzeugte sich indessen doch endlich, daß dieser Ablauf vergleichungsweise gegen die ganze zuströmende Fluthwelle so geringfügig war, daß dadurch eine irgend wahrnehmbare Senkung unmöglich herbeigeführt werden konnte, und so wurde denn, viel früher, als man mit der Trockenlegung des Haarlemmer Meeres den Anfang machte, die wasserfreie Abschließung bewirkt, die für die Entwässerung des Haarlemmer Meeres und des ganzen Rhijnlandes von wesentlichem Nutzen war. Die Erfahrung hat seitdem auch keinen Nachtheil für Amsterdam herausgestellt.

In Bezug auf die Unterhaltung tritt bei Seedeichen der sehr günstige Umstand ein, daß sie nicht lange dem Angriffe des Hochwassers ausgesetzt bleiben, und schon nach wenigen Stunden ihre ganze äußere Dossirung oder wenigstens ein großer Theil derselben wieder frei wird. Wenn diese Zwischenzeit und die Dauer des niedrigen Wassers auch ziemlich kurz ist, so genügt sie doch zur Untersuchung des Deiches, und giebt immer Gelegenheit, die gefährlichsten Beschädigungen nothdürftig wieder herzustellen. Der Vortheil ist wenigstens sehr hoch anzuschlagen, wenn man die Verhältnisse an den obern Strömen hiermit vergleicht, woselbst man oft Wochen und selbst Monate lang den Deich nicht aus dem Wasser vortreten sieht, und die Beschädigungen an demselben ganz

unbemerkt bleiben, bis sie sich durch plötzliche Kappstürzungen oder Durchbrüche zu erkennen geben. Nur in sehr seltenen Fällen, wenn nämlich der Wind während der Zeit der Ebbe an Heftigkeit zunimmt, und das Wasser vor sich aufstaut, ereignet es sich, daß nach dem Hochwasser keine Senkung eintritt, vielmehr die See zu folgenden Fluth ihren hohen Stand behält und sich alsdann auf Neue noch höher erhebt. Ein solches Ereigniß wiederholt sich indessen nicht oft, und die Dauer des Hochwassers dehnt sich dann auch nur auf zwei Fluthen aus, so daß man am nächsten Tage ganz sicher erwarten kann, das Wasser wieder stark ebbeln zu sehen.

Auch der Eisgang gestaltet sich vor Seedeichen ganz anders als vor Flußdeichen. Er ist für die ersteren gleichfalls sehr nachtheilig, namentlich wenn die Schollen noch groß und stark sind und von den Wellen gegen die Dossirung oder die Krone geschleudert werden. Dazu kommt auch noch der sehr ungünstige Umstand, daß beim Umsetzen des Stromes dasselbe Eis wieder denselben Deich trifft und aufs Neue beschädigt. Es kann sogar geschehen, daß das Eis wiederholentlich vorbeitreibt. Namentlich ereignet sich dieses bei ruhiger Witterung, indem alsdann die Schollen nicht aufgeschlagen werden, und nur der Strömung folgen. Gemeinhin fällt indessen hier einiger Wellenschlag statt, und wenn derselbe auf den Stoß des Eises vermehrt, so zerbricht er dasselbe doch sehr schnell, und die kleinern Stücke, die sich alsdann bilden, treiben gewöhnlich dicht gedrängt vor demjenigen Deiche, dem sie durch den Strom und Wind zugewiesen werden. Indem sie aber, wie andere schwimmende Körper, den Wellenschlag mäßigen, so sind die Beschädigungen, die sie anrichten, meist weniger bedeutend, als an den obern Stromstrecken.

Wenn die erwähnten Umstände sowol in der Anlage, als in der Unterhaltung der Seedeiche manche Vortheile und Erleichterungen gleichungsweise gegen die Stromdeiche gewähren, so darf man nicht unbeachtet lassen, daß auch die letztern im Allgemeinen weniger durch Strömung und Eisgang leiden, als durch Wellenschlag. Diese Ursache ihrer Zerstörung und Beschädigung ist aber bei den ersteren bei Weitem wirksamer, als bei diesen. Man darf daher die Unterhaltung eines Seedeiches keineswegs als eine leichte Aufgabe betrachten, vielmehr erfordert dieselbe häufig, und besonders wenn der Deich seiner Lage nach den heftigsten Stürmen ausgesetzt ist, 

regung und die Anwendung mancher Vorsichtsmaafsregeln, die in den obersten Strömen ganz unbekannt und entbehrlich sind.

Bei Bezeichnung der Eigenthümlichkeiten der Seedeiche dürfte der passendste Ort sein, eines solchen Deiches zu erwähnen, der in ganz eigenthümlichen Verhältnissen ausgeführt ist, und sich insofern von allen andern unterscheidet, als er in einem Thale liegt, das selbst bei den höchsten Anschwellungen nie überfluthet wird. Dieses ist der sogenannte Moordeich. Derselbe liegt auf der südöstlichen Seite des Jade-Busens zwischen Schweiburg und Osterfeld und erstreckt sich etwa auf die Länge einer halben Meile über ein hoch gelegenes Moor. Die Höhe des Bodens war Veranlassung, daß die Eindeichung hier noch fehlte, während der Jade-Bus schon seit Jahrhunderten rings umher eingedeicht war. Aber die Anschlüsse der seitwärts gelegenen Deiche an das Moor waren während der Zerstörung ausgesetzt, und vor den Enden beider Deiche, wie weit man diese auch fortsetzte, bildeten sich immer von neuem tiefe Rillen, durch welche die hohen Fluthen in das Binnenland eindringen. Dazu kam noch ein anderer sehr wesentlicher Uebelstand, der gleichfalls die hinterliegenden Marschen bedrohte. Dieses Moor nämlich bildete auch an sich keinen wasserdichten Abfluß, indem es im eigentlichen Sinne des Wortes nur auf dem Wasser schwamm. Bei Hochwasser erhob es sich und bot letzterem reichlich die Gelegenheit, in der Tiefe sich weit ins Binnenland fortzusetzen. So geschah es, daß plötzlich bald hier und bald dort große Wassermassen emporquollen und schon im Moore selbst wunderbare Erscheinungen veranlaßten. In dem Aufsendeiche wiederholen diese sich auch noch gegenwärtig. Man sieht hier Getreidefelder, Baumpflanzungen, Gärten und selbst leichte Wohnhäuser, die, nach dem Stande des Wassers in den Gräben zu urtheilen, nur wenig über der gewöhnlichen Fluth liegen, also bei Anschwellungen inundirt werden müßten. Dieses geschieht aber niemals, denn in demselben Maasse, wie das Wasser steigt, hebt sich auch der schwimmende Boden. Nichts desto weniger treten hin und wieder starke Pressungen ein, der Boden bricht auf, und indem bedeutende Wassermassen herausdringen, so reißen sie zugleich grössere und kleinere Theile der Oberfläche mit sich und versetzen diese auf andere Stellen. Namentlich in der Nähe des Deiches ereignet sich diese Erscheinung nicht selten, und man sieht daselbst in ähnlicher Weise,

als wenn ein Bergsturz statt gefunden hätte, Klumpen To etwa 6 Fufs Höhe und mehrere Quadratruthen groß, auf de den liegen. In früherer Zeit soll sogar der Fall vorgekomme daß ein ganzes Grundstück, soweit es durch den Umschließ graben begrenzt war, sich löste und mit dem Hause und (darauf an eine andre Stelle trieb. Gewöhnlich erfolgt indess Bruch da, wo die Belastung am größten ist, und dieses find ben den Häusern statt, dieselben werden daher möglichst leic geführt, und man vermeidet selbst, durch starke Brandmauer Schornsteine ihr Gewicht zu vergrößern.

Um diesen immer wiederholten Einbrüchen und Quellung begegnen und das Binnenland vollständig und sicher abzuschl wurde endlich im Anfange des vorigen Jahrhunderts, nämli Jahre 1717, durch den Admiral Sehestädt ein Deich durch da geschüttet. Wegen der großen Tiefe des letztern war die sehr schwierig, auch mußte die Erde aus weiter Entfernung fahren werden. Der Boden hatte so viel Festigkeit, daß e nur die einzelnen Wagenladungen, sondern die Schüttungen, ganzen Lagen dargestellt waren, noch trug, bei zunehmende stung brach er aber durch, und Alles versank spurlos. Diese hat in der ganzen Höhe, soweit er im Boden steckt (man diese Höhe auf 20 bis 30 Fufs) keine regelmässige Böschung ten, doch ist er ohne Zweifel sehr steil, weil die Erde b Gegendrucke des Moores sich nicht seitwärts ausbreiten. Manche Sackungen, die von Zeit zu Zeit eintreten, lassen be daß der Deich bei hohen Fluthen durchbrechen könnte, u hat daher gegenwärtig angefangen, ihn auf der äußern Se einer starken Berme zu versehen. Man verwendet hierzu d zähe Erde von dem sogenannten Klaihorn, einem Reste d Marsch, die noch vor dem Moore lag, aber gegenwärtig d Wellenschlag immer mehr abgebrochen wird.

Die Sicherheit eines Seedeiches hängt vorzugsweise v Höhe und Ausdehnung des Vorlandes oder des sogenannten A deiches ab. Obwohl diese Fläche bei Hochwasser mehr o niger überfluthet und bei ungewöhnlichen Sturmfluthen v 10 Fufs hoch und darüber mit Wasser bedeckt wird, so mä dennoch den Wellenschlag so sehr, daß die zerstörende V desselben viel geringer ist, als wenn die größere Wasserti

he nahe läge. Die Ursache dieser Abschwächung ergibt sich dem Verhalten der Wellen, wenn sie auf Wasserflächen von derer Tiefe auflaufen (§. 5). Sie nehmen bei hinreichender Ausmündung des stufenförmigen Absatzes die Eigenschaften solcher Wellen an, die dieser geringeren Tiefe entsprechen, und ihre Geschwindigkeit vermindert sich. Außerdem verhindert der hohe Aufsendeich auch die Annäherung des heftigsten Stromes, der gleichfalls den Deich bedrohen würde. Man darf hierauf weniger Gewicht legen, wenn es sich um schnell anwachsende Ufer handelt, weil diese einem starken Angriffe nicht ausgesetzt sind, auch erwartet werden kann, daß der Aufsendeich sich bald erhöhen und weiter ausbreiten, und dadurch die Gefahr mäßigen wird. Wenn dagegen der Aufsendeich abbricht, also an Breite verliert, und diese schon ziemlich geringe geworden ist, so muß die äußerste Vorsicht auf seine Erhaltung gerichtet werden. Man darf alsdann keine Beschädigung seiner Oberfläche gestatten. Die zur Instandhaltung des Deiches erforderliche Erde muß anderweitig entnommen, auch der weitere Abbruch des Ufers durch unmittelbare Deckung desselben nur durch Buhnen-Anlagen verhindert werden. Wenn indessen die hierzu erforderlichen sehr großen Geldmittel, wie oft der Fall ist, nicht beschafft werden können, so wird die Vertheidigung des Deiches immer schwieriger und zweifelhafter, und endlich tritt der Zeitpunkt ein, wo die weitere Erhaltung des Deiches theils wegen der hohen Kosten und theils auch wegen der augenscheinlichen Gefahr nicht mehr möglich ist. Alsdann muß man sich zur Zurücklegung desselben entschließen. In diesem Falle gewinnt die Frage in Betreff der nothwendigen Breite des Aufsendeiches vorzugsweise Bedeutung.

Die Beantwortung derselben hängt ohne Zweifel von manchen andern Umständen ab, und läßt sich daher nicht allgemeingültig lassen. Nichts desto weniger mag erwähnt werden, daß Woltman*) die Breite des Vorlandes von 20 bis 24 Hamburger Ruthen (330 bis 400 Rheinländischen Füssen) am Meer und an großen Flüssen in den meisten Fällen für ausreichend hält. Caland dagegen, auf dessen Urtheil die Niederländischen Ingenieure häufig Bezug nehmen, ist der Meinung, daß man selbst unter günstigen Verhältnissen

*) Beiträge zur hydraulischen Architectur II. Seite 6.

die Annäherung der Uferbrüche nicht auf weniger, als 50 Ruthen dürfe kommen lassen, und bei gefährlicher Lage des Deiches man die Uferdeckung schon vornehmen müsse, sobald die Breite des Vorlandes sich bis auf 80 Rheinländische Ruthen vermindert hat.

Die Zurücklegung eines Deiches kann indessen nicht erfolgen, wenn unmittelbar hinter demselben reiche Ortschaften oder ein wichtiger Hafen liegt. Alsdann bleibt nur übrig, mit Aufbietung aller Kräfte ihn zu erhalten, selbst wenn der Aussendeich ihm vollständig fehlt und ein sehr tiefer Strom unmittelbar vor ihm vorbeistreibt. Ein höchst wichtiges Beispiel hiervon ist der Deich, der sich auf dem nördlichen Ufer von Nord-Holland, der Insel Texel gegenüber, von Huisduinen bis zur Mündung des Hafens Nieuwen-Diep hinzieht. Er ist eine halbe Deutsche Meile lang und unmittelbar neben ihm zieht sich das Marsdiep hin, das durchschnittlich 100 Fufs, stellenweise sogar 120 Fufs tief ist. Die grösste Tiefe desselben befindet sich immer sehr nahe am Fusse des Deiches, besonders hat sie sich in einer flachen Bucht vor dem Helder ausgebildet, woselbst einige kurze Bühnenköpfe vor dem Deiche erbaut sind. Fig. 28 zeigt die ganze Situation.

Das Marsdiep bildet eine der Hauptverbindungen der Südersee mit der Nordsee, und da sie unter diesen die westlichste ist, so tritt in ihr die Fluth und Ebbe zuerst ein und verursacht die stärkste Strömung. Die etwa 6 Meilen entfernte sehr weite Oeffnung zwischen Vlieland und Terschelling kommt erst $1\frac{1}{2}$ Stunde später in Wirksamkeit, also wenn die Südersee bereits durch das Marsdiep zum Theil gefüllt oder entleert ist. Hieraus erklärt sich die starke Strömung und grosse Vertiefung des Letzteren.

Fig. 29 zeigt ein Profil des Deiches und seiner Befestigung. Die Krone liegt durchschnittlich 14 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser, der Fluthwechsel beträgt aber, wie schon früher erwähnt, etwa $3\frac{1}{2}$ Fufs. Die Steinböschung hat über dem Hochwasser eine acht- bis zehnfache Anlage. Zwischen dem Hoch- und Niedrigwasser ist sie auch noch ziemlich flach und schliesst sich in der Höhe des Niedrigwassers an ein Banket von 1 Ruthe Breite an. Von hier fällt die Böschung sehr steil, nämlich mit ein und einhalbfacher, stellenweise sogar nur mit einfacher Anlage auf die Sohle des Stromes herab. Wie stark die Steindecke hier sein mag, ist unbekannt, da sie schon während Jahrhunderten nach und nach

nicht ist. Gegenwärtig kommen bedeutende Beschädigungen vor, doch zeigen sich in jedem Jahre stellenweise Bewegungen, wobei die Steine herabrollen und durch neue Nachschüttungen ersetzt werden müssen. Man verwendet jährlich 400 bis 500 Granit-Blöcke (also etwa 100 Schachtruthen), die aus Norwegen und Schweden bezogen werden, und von denen jeder durchschnittlich 100 Pfund wiegen soll, die aber meist viel schwerer sind.

Wenn in der Böschung irgend wo eine Bewegung erfolgt, so bemüht man sich soweit fortzusetzen, daß wenigstens die äußeren Schichten des Bankets daran Theil nehmen, und so wird man schon im Augenschein auf die erfolgte Senkung aufmerksam gemacht. Nichts desto weniger bleibt doch zu besorgen, daß möglicherweise bei der großen Tiefe das Nachstürzen durch festes Anlagern der obern Steine verhindert wird, auch kann leicht eine Böschung, die zufällig etwas flacher geböscht war, eine steilere Form annehmen und sonach der Bewegung eine Grenze setzen. Wenn daher darunter der Fuß des Deiches entblößt wurde. Um Veränderungen sicher zu bemerken, werden in jedem Jahre öfter Witterung sehr sorgfältige Tiefen-Messungen und zwar an denselben Stellen wiederholt. Man mißt in Abständen von 6 bis 12 Fuß die Profile der Böschung bis jenseits ihres Fußes. Hieraus kann man durch Vergleichung mit den früheren Messungen die inzwischen eingetretenen Veränderungen schließen. Noch zu bemerken ist, daß die Dossirung über Wasser mit sehr großen Granit- und Basalt-Blöcken auf einer starken Unterlage von Sand und Kies gegenwärtig zum Theil abgepflastert ist, und daß in jedem Jahre fortgefahren wird.

Da dieser Deich auch vorzugsweise ungünstig situirt ist und seine Erhaltung die äußerste Anstrengung erfordert, so wie auch schon mehrfach an den Niederländischen Küsten, wenn auch in geringerem Maasse, dasselbe Verhältniß. Storm Buysing hat als Vorwurf der Vernachlässigung des Außendeiches die Mehrzahl der Niederländischen Deiche trifft.

§. 14.

See - Marschen.

Marschen nennt man die fruchtbaren Wiesen und zum Theil auch Ackerländereien, die so tief liegen, daß sie ohne den Schutz der Deiche vom Hochwasser der daneben befindlichen Ströme oder See inundirt werden würden. Sie sind aus Alluvionen entstanden, zeigen eine sehr ebene Oberfläche und ihr Boden besteht aus feinen Thontheilchen und vegetabilischen Stoffen, denen häufig auch mehr oder weniger Sand und andere Bestandtheile, die das Wasser herbeiführte, beigemischt sind. Die Geest ist dagegen das höhere Terrain, das vom Hochwasser nicht erreicht wird, und in Bezug auf seine Fruchtbarkeit der Marsch weit nachsteht.

Bei den an der See belegenen Marschen tritt das eigenthümliche Verhältniß ein, daß sie unter günstigen Umständen noch in großer Ausdehnung aus weiten Wasserflächen emporwachsen. In welchen Fällen dieses geschieht, ist in §. 12 ausführlich erörtert. Wo das Fluthwasser mit Schlick stark versetzt ist, läßt es denselben fallen, sobald es zur Ruhe kommt. Hierdurch hebt sich in Meeresbuchten oder an andern geschützten Stellen die Sohle, es entstehen Untiefen, und sobald diese so hoch angewachsen sind, daß sie bei der Ebbe trocken werden, so nennt man sie Watten. Die Oberfläche der letzteren, die nie austrocknen kann, weil jedes Hochwasser sie überfluthet, besteht aus sehr losem Schlamm, in den man tief einsinkt, wenn man sie zu betreten versucht, man kann indessen auf einer Watte, die bis zur halben Fluthhöhe angewachsen ist, schon ohne Mühe gehn, auch ohne Ueberdeckung des Bodens die verschiedensten Arbeiten darauf ausführen lassen.

Das Watt ist, wenn es keinen Sand enthält, mittelst eines leichten Schlittens auch schon zugänglich, wenn es nur so eben über das niedrige Wasser vortritt. Um die Krabben oder kleinen Seekrebse zu fangen, die in großer Menge darauf zurückbleiben, wird es am Dollard auf einem sehr dünnen, unten geglätteten und mit niedrigen vorstehenden Rändern versehenen Brettchen befahren. Dasselbe hat in der Mitte eine leichte Rüstung und eine gabelförmige Bank. Auf letzterer ruht das linke Knie des Fischers, während derselbe sich gegen die Rüstung lehnt. Mit dem rechten Fuß

er aber gegen den Boden und schiebt dadurch den Schlitten schnell fort, in ähnlicher Weise wie einen Piek - Schlitten.

auf den Watten vor den Ufern von Ritzebüttel an der Mündung der Elbe hat man mit günstigem Erfolge ähnliche nachenför-Vorrichtungen benutzt, worin Baumaterialien transportirt wurden.

Dieselben sind aus halbzölligen Brettern zusammengesetzt, 12 Fuß lang, 3 Fuß 4 Zoll breit und nur 7 Zoll hoch. Der Boden

an den Rändern abgerundet. Zwei Männer schieben sich darin

mit Stangen fort, die an ihren untern Enden mit kurzen Querbohlen versehen sind, um ein zu tiefes Eindringen zu verhindern.

Vorrichtungen sind aber nur zu benutzen, wenn die Oberfläche der Watten aus reinen Thontheilchen besteht und von jeder sandigen Beimengung frei ist. Findet sich die letztere darin vor, so ist der Boden schon bedeutend fester, und man kann mit weniger Anstrengung darauf gehn.

Sobald die Watten die Höhe der halben Fluth erreicht hat,

sich darauf einige Vegetation von sehr salzhaltigen Gewäch-

und indem diese die Bewegung des Wassers merklich schwächt,

so wird demselben die Gelegenheit geboten, die darin schwimmen-

den Schlammtheilchen vollständiger fallen zu lassen. Das Watt

ist alsdann viel schneller, als bisher auf. Sobald es soweit

angestiegen ist, daß es nur noch kurze Zeit hindurch vom Hoch-

wasser bedeckt, und bei todten Fluthen von demselben gar nicht

erreicht wird, so überzieht es sich mit einer festen Grasnarbe.

nennt es alsdann Groden oder Maifeld. Die weitere Er-

hebung hört noch keineswegs auf, so wie überhaupt dafür keine be-

stimmte Grenze bezeichnet werden kann, aber sie erfolgt natürlich

so langsamer, je seltener und je niedriger die Ueberfluthung

mit trübem Wasser erfolgt. Im Oldenburgischen betrachtet man

den Boden als reif, oder als hinreichend hoch angewachsen, um

zum Vortheil eingedeicht zu werden, wenn er sich ungefähr 1 Fuß

über das gewöhnliche Hochwasser erhebt.

Das Gesetz, nach welchem der Boden sich erhöht, läßt sich

allgemein bezeichnen. Setzt man nämlich die Höhe des Nie-

derblages in einem Hochwasser gleich $\frac{1}{m} h$, wo h die Höhe ist, in

der die Fluth über die untersuchte Stelle tritt, so wird der Was-

serstand beim Eintritt der nächsten Fluth nur noch

$$h \left(1 - \frac{1}{m}\right)$$

also die Höhe des zweiten Niederschlages nur

$$\frac{1}{m} h \left(1 - \frac{1}{m}\right)$$

sein und so fort. Hieraus ergibt sich, daß die Tiefe, die u
lich h war, nach der n ten Fluth nur noch

$$h \left(1 - \frac{1}{m}\right)^n$$

sein wird. In einem Jahre treten durchschnittlich 706 Flu
also in einem Monat 59. Durch Einführung dieser Za
ihrer Vielfachen für n kann man, sobald der Thongehalt i
wasser und die Höhe des anwachsenden Wattes bekannt
seine Höhe nach einer gewissen Zwischenzeit berechnen.

Beispielsweise setze ich $m = 1000$, d. h. aus Tausend
Fluthwasser scheidet sich bei jeder Fluth 1 Theil feste
und zwar bezieht sich das angenommene Verhältniß nicht
Gewicht, sondern auf das Volum. Die Höhe des erster
schlages würde also 1 Linie betragen, wenn das Watt bei
7 Fuß hoch mit Wasser bedeckt würde. Ein solcher Nie
ist allerdings sehr groß, aber dennoch dürfte er in der
keit zuweilen noch größer sein. Wenn ferner h gleich 10
setzt, und zugleich angenommen wird, daß das geklärte V
der Ebbe vollständig abfließt, also bei jeder Fluth imm
trübes Wasser und zwar immer in derselben Höhe darübe
würde die Wassertiefe in folgender Weise sich nach und
mindern.

Nach	1 Monat	.	.	.	.	.	9,43 Fuß
-	2 Monaten	.	.	.	.	.	8,90 -
-	3	-	.	.	.	.	8,40 -
-	4	-	.	.	.	.	7,92 -
-	5	-	.	.	.	.	7,47 -
-	6	-	.	.	.	.	7,05 -
-	7	-	.	.	.	.	6,65 -
-	8	-	.	.	.	.	6,27 -
-	9	-	.	.	.	.	5,92 -
-	10	-	.	.	.	.	5,58 -
-	11	-	.	.	.	.	5,27 -

nach 12 Monaten oder 1 Jahr 4,97 Fufs

-	2 Jahren	.	.	.	.	.	2,47	-
-	3	-	.	.	.	.	1,23	-
-	4	-	.	.	.	.	0,61	-
-	5	-	.	.	.	.	0,30	-
-	6	-	.	.	.	.	0,15	-
-	7	-	.	.	.	.	0,075	-
-	8	-	.	.	.	.	0,037	-
-	9	-	.	.	.	.	0,019	-
-	10	-	.	.	.	.	0,009	-

dem angenommenen Thongehalt des Fluthwassers versich, wie vorstehende Tabelle zeigt, die Tiefe in jedem m etwas mehr, als die Hälfte. Die Verminderung würde die Hälfte betragen, wenn der Thongehalt ein wenig genommen, oder $n = 1011$ gesetzt wäre.

dieser Untersuchung, deren Resultate im Allgemeinen sich Erfahrung anschliessen, ist die Voraussetzung gemacht worden, dass die Fluth jedesmal eine gleiche Höhe erreicht, und zwar an bei der Bestimmung von h die mittlere Höhe der Fluth anzu-
 lege. Bis zu derselben kann aber unter dieser Voraussetzung das Watt niemals anwachsen, oder die übrig bleibende z , die in jedem Jahre sich in einem bestimmten Verhältniss vermindert, kann niemals vollständig verschwinden. In der Wirklichkeit gestaltet die Erscheinung sich ganz anders, wie beschrieben ist, indem die Fluthen häufig diese mittlere Höhe nicht erreichen, in andern Fällen aber sie sehr bedeutend übersteigen. Nur Zeit der Springfluthen findet zum Theil das letztere statt, doch höher schwellen die Fluthen bei starken Stürmen an. Sobald das Wasser auch sehr bewegt ist, und sonach der Schlag der Thontheilchen keineswegs vollständig erfolgt, so ist starke Wellenbewegung andererseits Veranlassung, dass auch der Gehalt des Fluthwassers ungewöhnlich groß ist. Die Wellenbewegung wird ausserdem, wenigstens in den tiefern Schichten, zunächst über dem Boden befinden, durch die Vegetation bereits hoch liegenden Watten sehr gemässigt, und sonach auch nach den höchsten Fluthen auch sehr starke Schlickablagen, selbst wenn das Watt schon bis zur Höhe der gewöhn-

lichen Fluthen angewachsen war. Letztere bildet also keineswegs die äußerste Grenze der Erhöhung, vielmehr wächst das Watt und namentlich neben den Ufern, wo die Strömung am geringsten ist, noch einige Fuß darüber empor.

Um den neuen Groden möglichst bald in vollem Maasse nutzbar zu machen, werden gemeinhin die Anträge zu seiner Eindeichung schon gestellt, sobald er nur die Höhe der mittleren Fluthen erreicht und mit Grasnarbe sich überzogen hat. Indem der mittlere Fluthwechsel an der Deutschen Nordsee-Küste über 10 Fuß beträgt, so rechtfertigt sich ein solches Verlangen, wenn man nur die Möglichkeit einer Entwässerung unter den dermaligen Verhältnissen in Betracht zieht. Diese gestalten sich aber oft im Laufe der Zeiten ganz anders. Wenn nämlich noch andere Flächen vor diesen später eingedeicht, also die Abzugsgräben verlängert werden müssen, deren absolutes Gefälle sich nicht vergrößern läßt, so nimmt das relative Gefälle immer mehr ab. Besonders pflegt aber die Entwässerung mangelhaft zu werden, wenn der vor dem Deiche liegende Theil des Entwässerungs-Grabens oder das Siel-Tief eine bedeutende Länge annimmt, weil dieses im höchsten Grade der Verschlickung ausgesetzt ist. Sodann darf auch die spätere Senkung des eingedeichten Grodens nicht unbeachtet bleiben, die eine ausführliche Erörterung fordert. Hierzu kommt endlich noch, daß der Deich selbst um so kostbarer in seiner Anlage und Unterhaltung wird und um so größerer Gefahr ausgesetzt bleibt, je niedriger das vor und hinter ihm belegene Terrain ist.

Diese Umstände fordern dringend, daß man die Eindeichung eines Grodens nicht zu früh vornehme, vielmehr dieselbe bis zu dem Zeitpunkte aussetze, wo der Groden das Maximum seiner Höhe nahe erreicht hat, er also nur sehr wenig noch anwachsen kann. In früherer Zeit sind in dieser Beziehung vielfach und wahrscheinlich sogar gewöhnlich, sehr große Mißgriffe vorgekommen, wodurch die Erhaltung der Deiche eben so wie die Entwässerung übermäßig erschwert ist. In den Niederlanden wiederholt sich sogar vielfach die Erscheinung, daß Polder, die ursprünglich ohne Zweifel bei jedem Niedrigwasser trocken wurden, weil in so früher Zeit die Eindeichung sonst nicht ausgeführt wäre, gegenwärtig der natürlichen Entwässerung ganz entbehren, und nur durch Schöpfmühlen noch entwässert werden können.

Sobald der Groden eingedeicht, also dem ferneren Zutritt des Wassers entzogen ist, so hört seine weitere Erhöhung auf, auch veranlaßt aber auch die dauernde und regelmäßige Enttrocknung, daß er zusammentrocknet und die Höhe verliert, die er ursprünglich hatte. Bei dem thonigen Marschboden, der an der Nordsee-Küste gewöhnlich vorkommt, ist diese Senkung sehr erheblich. Besonders auffallend ist sie aber, wenn das Land zur Zeit der Eindeichung noch nicht hoch angewachsen, sondern sehr naß und schlammig war. Selbst das Setzen der neuen Groden vor den neuen Groden viel stärker zu sein pflegt, als man vermuthen könnte, rührt zum Theil von der Compression des Bodens her, die bei der bedeutenden Belastung sehr

verschieden und viel bedenklicher gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Untergrund aus Moor oder Torf besteht. Das wichtigste Beispiel in dieser Beziehung ist die Provinz Nord-Holland, in der ausgedehnte Torflager vielfach unter der fruchtbaren Erde zu finden werden, und wo die Entwässerung, wie historisch nachgewiesen ist, von Jahrhundert zu Jahrhundert immer größere Schwierigkeiten bietet. Schon zur Zeit der Römischen Herrschaft bestanden wahrscheinlich einige Eindeichungen, doch hat deren Verfall und die regelmäßige Umschließung des ganzen Landes in die Deiche, die es zum Theil noch hat, nach Velsen, erst im 11. oder 12. Jahrhunderte statt gefunden. Gegenwärtig liegt das Terrain, welches die in neuerer Zeit eingedeichten Polder, nirgend über dem mittleren Wasserspiegel der See, und vielfach erreicht es diesen nicht. Die natürliche Entwässerung hat daher aufgehört, das Binnenwasser muß künstlich gehoben werden. Wenn die Deiche nicht existirten, so würden zur Zeit des Hochwassers die Dünen an der westlichen Küste darüber hervorragen, das ganze übrige Land nichts anderes, als ein Watt wäre, welches nur einen geringen Wasserstand über sich hätte, sondern als aber so tief läge, daß es selbst bei niedrigem Wasser mehrere Fuß hoch von demselben bedeckt bliebe. Ein solches Terrain und zwar unmittelbar neben der See trocken zu legen und zu machen, würde man selbst heutiges Tages Bedenken haben, man muß es aber für ganz unmöglich halten, daß in der Zukunft ein Watt dieser Art zum Aufenthalte gewählt werden

konnte, da überdies die Mittel zur künstlichen Entwässerung ganz unbekannt waren.

Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, daß der Boden von Nord-Holland in früherer Zeit gegen den Meeresspiegel bedeutend höher lag, als gegenwärtig. Die Annahme, daß das Meer sich im Allgemeinen gehoben habe, ist weder an sich wahrscheinlich, noch wird dieselbe durch irgend welche andre Wahrnehmungen bestätigt, und eben so wenig ist die Voraussetzung zulässig, daß der Boden in Folge von Bewegungen im Innern der Erde, etwa wie die Schwedische Küste, seine Höhenlage verändert habe. Auch die Vermuthung, die Brünings ausgesprochen hat, daß nämlich der Wasserstand der Süder-See sich gehoben habe, ist weder durch Messungen bestätigt, noch auch an sich wahrscheinlich. Brünings meint nämlich, daß die Süder-See in früherer Zeit durch einen, oder mehrere sehr tiefe Meeres-Arme mit der Nordsee in Verbindung stand, die, indem sie nach und nach sich vervielfältigten, größere Durchflußweiten annahmen, aber an Tiefe verloren, woher gegenwärtig zwar die Fluthen noch vollständig eindringen, aber die Ebben wegen ungenügender Tiefe in den Ausfluß-Mündungen keine so starke Senkung des Wasserstandes, wie früher veranlassen können. Erscheinungen dieser Art zeigen sich allerdings vielfach in kleineren Buchten neben dem Meere, aber wenn die bei der Fluth eingedrungene Wassermasse sehr groß ist, so findet auch eine starke Ausströmung statt, und hierdurch bildet sich ein tiefes Bette, worin die Ebbe vollständig abfließt. Jedenfalls müßte, wenn dieses hier nicht wäre, der mittlere Wasserstand in der Süder-See höher sein, als in der Nordsee, was die Nivellements nicht ergeben haben.

Die verschiedenen älteren Polder in Nord-Holland liegen gegenwärtig 2 bis 5 Fuß unter dem gewöhnlichen Hochwasser der Süder-See. In neuerer Zeit hat man einzelne noch bedeutend tiefere Flächen dazwischen eingedeicht und trocken gelegt, die man Meere nennt. Von diesen ist hier nicht die Rede, aber wichtig ist die Thatsache, daß die Marken des Sommerwasserstandes, oder die Tiefe, bis zu welcher aus jenen älteren Poldern das Wasser abgemahlen wird, von Jahrhundert zu Jahrhundert immer gesenkt werden mußten.

Die Academie der Wissenschaften zu Haarlem stellte 1759 zur Preisbewerbung die Frage, ob das Sinken des Bodens in der Pro-

inz Holland vergleichungsweise zum Spiegel der Nordsee sich sicher nachweisen lasse. Der Preis wurde Lulofs zuerkannt. Derselbe bewies durch Zusammenstellung vielfacher Nachrichten und namentlich durch Vergleichung der in verschiedenen Zeiten erlassenen Bestimmungen über die Mühlenpegel, daß eine solche Senkung wirklich eingetreten sei und noch fortdaure. Dabei wurde freilich vorausgesetzt, daß diese Mühlenpegel (maalpeil) unverändert in ihrer ursprünglichen Höhe geblieben sind. Diese Annahme ist indessen wohl zulässig, da absichtliche Aenderungen bei der großen Wichtigkeit des Gegenstandes nicht unbemerkt bleiben konnten und noch weniger zu vermuthen ist, daß eine veränderte Höhenlage des Deiches die Ursache der Erhöhung des Binnenwassers gewesen sei. Der Deich müßte nämlich in diesem Falle zugleich mit der Mühle sich gehoben haben, was jedenfalls unmöglich ist. Dagegen kann der Deich, dessen Untergrund gleich Anfangs comprimirt worden war und zugleich wegen des freien Zutrittes des Wassers von der einen Seite einer zunehmenden Austrocknung nicht ausgesetzt blieb, an dieser allgemeinen Senkung des Binnenlandes nicht Theil nehmen. Das Resultat, zu dem Lulofs gelangte, war, daß nach den Erfahrungen seit dem Jahre 1250 das Binnenland in jedem Jahrhundert 17 Zoll sinkt. *)

In den neuern hydrotechnischen Schriften, die in den Niederlanden erschienen sind, habe ich vergeblich Mittheilungen über diesen wichtigen Gegenstand gesucht. Hiernach scheint in dem letzten Jahrhunderte eine weitere Senkung des Bodens nicht eingetreten zu sein. Dagegen muß erwähnt werden, daß ähnliche Erscheinungen auch in Ost-Friesland bemerkt sind. **) Im Jahre 1605 wurde nämlich das Altbunder Land am Dollard eingedeicht, 1648 mußte für dasselbe schon eine künstliche Entwässerung eingerichtet werden, und 1819 lag es bereits 7 Fuß unter dem Aufsendeiche. Der 1682 eingedeichte Charlotten-Polder vor dem Altbunder Lande lag 1819 dagegen $3\frac{1}{2}$ Fuß und der 1702 eingedeichte Christian-Eberhards-Polder 2 Fuß unter dem Aufsendeiche. Der 1795 eingedeichte Heinitz-Polder befand sich in derselben Zeit auch schon 9 Zoll unter

*) Woltman, Beiträge zur hydraulischen Architectur. IV. Band, Seite 121 ff.

**) Reinhold, Hydrographie von Ost-Friesland in Crelle's Journal für die Baukunst. Band XIII.

dem Aufsendeiche. Hierbei ist die Vergleichung mit dem Aufsendeiche allerdings sehr unsicher, indem die Höhe desselben sich stets verändert, nichts desto weniger ergibt sich dennoch unzweifelhaft aus dieser Zusammenstellung, daß auch hier eine sehr auffallende Senkung des eingedeichten Landes statt gefunden hat, die sogar größer als in Nord-Holland zu sein scheint.

Die bereits erwähnten Uebelstände und Gefahren, die aus einer zu niedrigen Lage der Polder entspringen, können zuweilen so groß werden, daß man sich endlich entschliessen muß, eine Abhülfe zu schaffen, wenn diese an sich auch wieder höchst bedenklich ist. Das Mittel besteht darin, daß man den Deichen die große Höhe nimmt, und sie in Sommerdeiche verwandelt. Für gewöhnliche Springfluthen bieten sie alsdann noch Schutz, sobald aber Sturmfluthen eintreten, fließt das Wasser in weiten und gehörig gesicherten Ueberlässen ein. Die eingedeichten Flächen füllen sich bald an, die Gefahr vor Deichbrüchen wird also auf diese Weise sehr sicher vermieden und es wird zugleich der große Vortheil erreicht, daß aus dem abgefangenen Wasser, welches bei dem starken Wellenschlage eine große Menge Thontheilchen in sich aufgenommen hatte, und das sich zwischen den Deichen sehr vollständig klärt, ein sehr bedeutender Niederschlag gewonnen wird. Auf diese Weise wächst das Land, obwohl es eingedeicht ist, nach und nach wieder weiter auf und erreicht endlich solche Höhe, daß die Deiche ohne Gefahr über die höchsten Sturmfluthen heraufgeführt werden können. Daß ein solches Verfahren mit großen Unbequemlichkeiten und Nachtheilen für die öconomischen Verhältnisse verbunden ist, bedarf kaum der Erwähnung. Von der Benutzung des Bodens zum Getreidebau muß man alsdann ganz absehn, er darf nur Weide bleiben. Man muß außerdem für erhöhte Plätze oder Warfen sorgen, auf die das Vieh getrieben werden kann, sobald das Eindringen der See besorgt wird, und auf diesen hohen Stellen müssen hinreichende Vorräthe von Regenwasser gesammelt sein, da alle Gräben der Marsch sich mit Seewasser anfüllen. Endlich müssen auch die Dörfer und einzelnen Höfe auf solchen Aufschüttungen erbaut werden, damit sie vom Wasser nicht zu sehr leiden und bewohnbar bleiben. Die Communication beschränkt sich endlich in solcher Zeit allein auf den Verkehr mit Böten.

Es leuchtet ein, daß man zu diesem Mittel nur in der ärmsten

schon greifen wird, und dennoch hat man sich auf der Insel Marken an der östlichen Seite der Süder-See bei Kampen dazu entschließen müssen.

Es war bisher nur von dem Verhalten des Grodens nach seiner Eindeichung die Rede; über das Entstehen desselben, und über die Mittel, wodurch man dieses befördern kann, bleibt noch Einiges zu theilen. Zuweilen werden schon künstliche Anlagen gemacht, um die Bildung der Watten einzuleiten, dieses geschieht indessen doch nur selten, weil die Erfolge zu unsicher, und die erforderlichen Ausführungen zu kostbar sind. Es kommt vor Allem darauf an, die Bewegung des Wassers, sowol die Strömung, als den Wellenschlag zu unterbrechen und zu mäßigen, und dieses geschieht, indem man durch Zäunungen oder andre solidere Werke, also etwa durch Bühnen in der Wasserfläche kleinere abgeschlossene Bassins bildet. Eine ziemlich bedeutende Anlage dieser Art wurde vor wenigen Jahren im Oldenburgischen ausgeführt, indem man, um den Fähr-Busen schneller zur Verlandung zu bringen, von dessen östlichem Ufer ein Werk von nahe einer Meile Länge über die zum Theil noch sehr niedrigen Watten fort nach den Inseln, die Ober-Abnischen Felder genannt, hinüberführte. Solche Anlagen sind indessen bei Stürmen der Zerstörung in hohem Maasse ausgesetzt und bedürfen also einer sehr soliden Construction. Man begnügt sich daher gemeinlich mit viel einfacheren Arbeiten, die zum Theil gleichfalls auf sehr niedrigen Watten schon mit Erfolg vorgenommen werden.

In Friesland und am Laauwer See werden Flechtzäune normal gegen das Ufer auf dem Watten gezogen, die also bühnenartig die Bewegung des Wassers etwas mäßigen. Wenn hierbei auch vielfache Beschädigungen vorkommen, so ist der Nachtheil nicht bedeutend und die Wiederherstellung leicht. Sobald die Erhöhung in so weit erfolgt ist, daß das Watt einige Consistenz annimmt, so beginnt die Graben-Arbeit. Man zieht wieder normal gegen das Ufer in Abständen von 2 Ruthen flache Gräben von 5 Fuß Breite und 1 bis 1½ Fuß Tiefe, die bis 1000 Fuß lang sind. Die ausgehobene Erde wird in die Zwischenräume möglichst gleichmäßig verbreitet. Auf diese Art entsteht eine wellenförmige Oberfläche. Man bezweckt dabei vorzugsweise, beim Eintritt der Ebbe in den Gräben selbst, die man Grippen nennt, die thonigen Theilchen aus dem

Wasser aufzufangen. Aus diesem Grunde giebt man den Gräben am untern Ende keinen Abfluß, vielmehr werden sie absichtlich gesperrt, damit das Wasser darin lange zurückgehalten wird, und sich vollständig klären kann. Auf diese Art füllen sich die Grippen in kurzer Zeit mit Schlamm an, und derselbe wird alsdann aufs Neue ausgestochen und auf die zwischen liegenden höheren Flächen geworfen. Man kann diese Arbeit drei bis viermal in einem Jahre wiederholen und dadurch allerdings eine merkliche Erhöhung des Wattes veranlassen.

In der Provinz Seeland werden solche Anlagen in der Art ausgeführt, daß man nicht Gräben bildet, in welchen das Wasser zurückgehalten wird, vielmehr stellt man auf dem Watte weite Bassins oder Schlickfänge dar, die denselben Zweck erfüllen sollen. In Abständen von 60 bis 100 Fufs werden normal gegen das Ufer flache Erddämme aufgeworfen, die 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fufs hoch und seitwärts mit dreifacher oder vierfacher Anlage abgeböschet sind. Damit sie aber vom Wellenschlage weniger leiden, so bedeckt man sie mit einer Strohlage, die durch eine leichte Bestickung befestigt wird. Die in solcher Weise gebildeten Felder schließt man auch auf der äufsern Seite ab, indem man hier eine Lage Faschinen vorlegt, die von drei Flechtzäunen gehalten wird. Diese Faschinen kehren ihre Wipfelenden dem Ufer zu, und ihr Zweck ist vorzugsweise, das Abfließen des dünnen Schlammes zu verhindern, der sich in ihnen fangen soll. Die Wirkung dieser Schlickfänge wird sehr gerühmt, aber ihre Ausführung und Unterhaltung ist auch sehr kostbar.

Aehnliche Anlagen empfahl schon Woltman, doch rieth derselbe, die Dämme bis über die gewöhnliche Fluth zu erhöhen, und durch Strauch zu befestigen. Sie sollten nach seiner Angabe 10 Ruthen von einander entfernt sein, aber auch seeseitig die einzelnen Felder umschließen, indem jedes derselben nur eine schmale Oeffnung behält, durch welche das Wasser aus- und eintreten kann.

Die Begrippungen kommen im Oldenburgischen vielfach vor, und zwar werden sie nicht nur im Busen der Jade fortwährend ausgeführt, sondern man hat sie vor längerer Zeit auch an der Mündung der Weser versucht. Im Allgemeinen befolgt man dabei dasselbe Verfahren, wie in der Provinz Friesland, indem man in dem Watte vertiefte Rinnen oder Gräben darstellt, und dieselben immer aufs Neue aushebt, so oft sie sich angefüllt haben. Diese Grippen sind

Fuß breit und 2 Fuß tief, und ihr gegenseitiger Abstand bis 40 Fuß. Man führt dieselben zuweilen sehr weit in hinaus, namentlich soll dieses in früherer Zeit geschehn e Arbeiter konnten alsdann nicht mehr zu Fuß nach der geschickt werden, weil sonst das Hin- und Hergehn, das weichen Boden überaus anstrengend ist, zu viel Zeit er- und die Dauer der jedesmaligen Arbeit zu sehr verkürzt ürde. Sie fuhren daher in der letzten Ebbe in Böten nach e, wo die Grippungen vorgenommen werden sollten, und sobald das Wasser weiter zurücktrat, sogleich die Arbeit , und dieselbe so lange fortsetzen, bis die Fluth die Bau- der erreichte. Zum Ausheben der Erde bedienten sie sich t Schaufel, die jedoch mit dem Stiele einen spitzen Winkel und einem gewöhnlichen Handbagger ähnlich war. Man ogar Dielen mitzunehmen, welche auf den Boden geworfen und worauf die Arbeiter standen, weil sie sonst in den Schlamm tief eingesunken wären, und dadurch die Arbeit lentlich erschwert sein würde. Gegenwärtig ist man von teiten Ausdehnung der Gräben zurückgekommen, und be- dieselben nur noch auf die Nähe des Ufers und auf die und festeren Watte. Man geht damit aber jedesmal über ize der natürlichen Vegetation hinaus. Letztere darf nicht werden, denn ihre Wirkungen sind, wie im Oldenburgischen n anerkannt wird, für die Erhöhung des Bodens weit gün- ls die künstlichen Mittel, die man zu demselben Zwecke an- köunte.

ßerdem verfolgt man hier in neuerer Zeit eine ganz andre als oben bezeichnet wurde. Man will nämlich durch die rmige Umgestaltung des Bodens dem Wasser zwar auch die heit bieten, daß es in seinen untern Schichten und nament- len Gräben selbst sich möglichst beruhige und den Schlamm aber außerdem betrachtet man die vollständigere Ableitung users als einen Hauptzweck dieser Gräben. Dieselben wer- er keineswegs an ihren untern Enden geschlossen, vielmehr glich nach etwas tieferen Rillen oder nach Senkungen in itte geführt, so daß bei der Ebbe das Wasser recht schnell und der Schlamm während der Zeit, daß er frei liegt, Ge- t hat, sich fester abzulagern, wodurch er der Gefahr entzo-

gen wird, bei den folgenden Fluthen, besonders wenn starke Wellenbewegung mit diesen eintreten sollte, wieder fortgespült zu werden.

Diese letzte Rücksicht ist gewiss von grosser Bedeutung. Man darf nämlich nicht unbeachtet lassen, daß bei Stürmen auch von dem in der Ausbildung begriffenen Watt wieder große Massen des bereits niedergeschlagenen Schlammes sich lösen. Dieses wird aber keineswegs dadurch verhindert, daß das Wasser vielleicht schon stark mit erdigen Theilchen versetzt war, denn bei dieser rein mechanischen Vermengung giebt es keinen Sättigungspunkt. Dagegen ist die Wellenbewegung dem Watten weniger nachtheilig, wenn dessen Oberfläche einigermaßen ausgetrocknet ist, und dieses wird befördert, wenn man durch leichte Gräben und durch Aufräumung der natürlichen Rillen für den vollständigen Abfluß des Wassers sorgt. Diese Vorsicht allein ist daher schon ein wirksames Mittel zur Beförderung des Anwachsens der Watten.

Am Dollard sind die Anlagen zum Auffangen des Schlickes viel complicirter, indem man nicht nur das Wasser beruhigen, sondern auch eine möglichst sanfte und dennoch vollständige Ausströmung zur Zeit der Ebbe veranlassen will. In dem bereits erwähnten Werke, betitelt „de Dollard“ sind im fünften Abschnitte diese Arbeiten sehr ausführlich, mit Angabe der verschiedenen Abweichungen, die stellenweise vorkommen, behandelt. Fig. 30 stellt im Allgemeinen die Anordnung dar. Man bildet kleine oblonge Flächen, deren lange Seiten mit dem Deiche parallel und achtmal so lang, als die kurzen sind. Jede derselben wird an den kurzen Seiten einmal durch den etwas erhöhten Weg *AA* und gegenüber durch den Ableitungs-Graben *BB* begrenzt. An den langen Seiten wird jede durch einen flachen Graben und gegenüber durch einen niedrigen Damm eingeschlossen, der aus dem Auswurfe der Gräben gebildet wird und sich an einen Weg anlehnt.

Die Fluth tritt in ihrer zweiten Hälfte mit großer Heftigkeit ein, und wenn daher der Abzugsgraben auch zunächst sich mit Wasser füllt, so erfolgt gleich darauf der Uebersturz über alle niedrigen Querdämme. Sollten dabei Erdmassen abgerissen werden, so bleiben diese auf den nächsten Flächen liegen, und sind daher nicht verloren. Zur Zeit des Hochwassers sinken die schwersten darin enthaltenen Theilchen zu Boden, und namentlich in der Nähe

Die Oberfläche klärt sich das Wasser am meisten. Dieses tritt beim Beginn der Ebbe wieder über die niedrigen Dämme. Sobald letztere trocken werden, befindet sich hinter ihnen das am meisten gesammelte Wasser und dieses fließt längs den Dämmen *bb* bis zu den Punkten *a*, wo es erst in den Abzugsgraben *BB* gelangt. Es muß einen weiten Umweg machen, woher seine Geschwindigkeit sehr gering bleibt, und sonach der bereits erfolgte Niederschlag nicht in Bewegung gesetzt wird. Die Wirkungen dieser Anlagen sollen sehr groß sein, doch ist gewiß die erste Ausführung so wie auch die dauernde Instandhaltung sehr kostbar. Um die Dimensionen einzuschätzen beurtheilen zu können, wird die Mittheilung genügen, daß die einzelnen Flächen 36 bis 75 Quadrat-Ruthen enthalten.

Wenn das Watt in Folge der localen Verhältnisse oder durch die erwähnte Nachhülfe unterstützt, sich endlich soweit erhöht hat, daß es bei halber Ebbe trocken wird, so stellt sich darauf die erste Vegetation von selbst ein. Jeder Versuch, den ferneren Anwuchs noch zu beschleunigen, ist alsdann nicht nur erfolglos, sondern sogar störend. Zwischen den strauchähnlichen Pflanzen, die sich zu zeigen, wird die Bewegung des Wassers in weit höherem Grade gehindert, als man dieses durch künstliche Mittel thun könnte. Nunmehr bleibt also das Watt ganz sich selbst überlassen.

Die erste Pflanze, die sich auf dem schlammigen Boden zeigt, ist die Glasschmalz oder die Seekrappe (*salicornia herbacea*), ein blätterloses Gewächs, dessen sehr saftige vielfach verzweigte Aestchen aus kurzen Gliedern zusammengesetzt sind. Sehr wenig später zeigt sich auch das Salzkraut (*Salsola Kali*), das vergleichungsweise jenem ein sehr dürres Ansehn hat, und dessen kleine Blättchen stachelförmig zugespitzt sind. Diese beiden Pflanzen, die gruppenweise das noch niedrige Watt dicht überziehn, werden, wenn sie auch ganz ausgewachsen sind, schon bei gewöhnlichen Fluthen beinahe vollständig überdeckt. Auf den niedrigsten Stellen kommen sie deshalb auch nicht zur Blüthe, vielmehr geschieht dieses nur, wenn sie auf höheren Watten stehn, wo sie zum Theil über Wasser bleiben. Sie bilden an der Jade, sowie auch am Dollard ausgedehnte, dichte Gebüsche, nach deren Begrenzung man die Höhe der Watte sehr sicher beurtheilen kann. Im Oldenburgischen bezeichnet man beide Pflanzen-Arten, obwohl sie ganz verschieden sind, mit dem gemeinschaftlichen Namen, Quendel. Man findet

beide, doch nur vereinzelt, auch am Strande der Ostsee. Sie werden zur Soda-Fabrikation benutzt.

Ist das Watt so hoch angewachsen, daß es nur noch 2 Fuß unter gewöhnlicher Fluth liegt, so findet sich eine andre Pflanze, die es gleichfalls dicht überzieht. Dieses ist eine Sternblume (*aster tripolium*). Sie hat solche Höhe, daß sie selbst die gewöhnlichen Springfluthen überragt. Es gewährt einen eigenthümlichen Anblick, ihre theils gelben und theils rothen Blüthen zur Zeit des Hochwassers wenig über den Wellen in zahlloser Menge hin- und herschwanken und oft darauf schwimmen zu sehn.

Wenn endlich der Boden die Höhe der gewöhnlichen Fluth nahe erreicht hat, er also zur Zeit der todten Fluthen einige Tage hindurch vom Wasser nicht bedeckt wird, so fängt er an, sich mit einer Grasnarbe zu überziehen, und zwar mit demselben Gras, das auch später den Aufsendeich bedeckt, und ein sehr nahrhaftes Viehfutter bildet. Dieses ist ein Rispengras (*Poa maritima* und *laxa*). Sobald dieses Gras eine dichte Narbe bildet, nennt man die bisherige Watt, einen Groden.

Die benannten Pflanzen sind keineswegs die einzigen, die hier vorfindet, doch die übrigen zeigen sich nur vereinzelt, während diese in ausgedehnten Gruppen neben einander wachsen, und zusammenzugewise die Flora auf diesem jungen Boden bilden. Es sind vorstehend nur die unteren Grenzen ihres Vorkommens angegeben, weiter landwärts giebt es für sie keine Grenze. *Salicornia* und häufiger *Salsola* sieht man auch zwischen dem Rispengras wachsen. Sämmtlich tragen sie aber zur Beruhigung und daher zur verständigeren Klärung des Wassers wesentlich bei, und in gleichem Maße schützen sie auch die Thontheilchen, die zwischen ihnen niedergeschlagen sind, und verhindern, daß dieselben bei späteren Fluthen wieder vom Wasser gehoben werden. Das Anwachsen der Watten erfolgt aller künstlichen Mittel unerachtet bis zur halben Fluthhöhe viel langsamer, als sie später sich erhöhen, wenn die Vegetation sie überzogen hat.

Schließlich mag hier noch erwähnt werden, daß der Jadesand auf der westlichen Seite am stärksten anwächst, und daß der Vergleichung der nach und nach ausgeführten neuen Eindeichungen das Ufer hier durchschnittlich in jedem Jahre um 40 Fuß vortritt. Noch beträchtlicher sind die Verlandungen am Doll-

hat der jährliche Anwachs sogar eine durchschnittliche Breite von 64 Rheinländischen Füssen hat und zwar nicht nur vor den Ufern, sondern auch vor den südlichen Ufern.*)

§. 15.

Ausführung der Seedeiche.

Die Anordnung und Construction der Seedeiche stimmt in vieler Beziehung mit der der Flußdeiche so genau überein, daß ein weiteres Eingehn in alle Einzelheiten entbehrlich erscheint. Es wird daher hier nur in soweit der Deichbau behandelt werden, als Wellenschlag, die Fluth und Ebbe und die dadurch veranlaßte veränderte Richtung des Stromes besondere Berücksichtigung fordern. Insofern bei Ueberfluthung eines Deiches nicht nur der dahinterliegende Polder der Inundation ausgesetzt, sondern auch der Deich selbst durch das darüber stürzende Wasser angegriffen, und zerstört wird, so kommt es zunächst darauf an, die erforderliche Kronenhöhe des Deiches zu bestimmen. Dieses kann im Allgemeinen bei Seedeichen mit größerer Sicherheit als bei Stromdeichen geschehn, und namentlich wenn diese eine Niederung umgeben sollen, die bisher noch offen war. Der Grund dafür ist wie oben angegeben: eine Beschränkung des Durchflußprofils, durch ein Aufstau veranlaßt werden könnte, kommt hier nie vor, und eben so wenig kann in Folge von Eisversetzungen der Wasserstand sich zu ungewöhnlicher Höhe erheben. Es kommt nur darauf an, daß man die Höhen der gewöhnlichen Fluthen, und die Anschwellungen kennt, welche Stürme veranlassen, und außerdem die Höhe der Wellen vor den Ufern berücksichtigt.

Das gewöhnliche Hochwasser über dem mittleren Wasserstande der See, so wie auch das der Springfluthen muß zunächst sorgfältigen und ausgedehnten Beobachtungen hergeleitet werden. An den Mündungen von Strömen und in Meerbusen geben sich, wie gleichfalls schon nachgewiesen, zuweilen manche locale Abweichungen auf den Fluthwechsel zu erkennen, doch pflegen dieselben in weiteren Entfernungen bedeutend zu sein, und es ist daher wichtig, in dieser Beziehung die Beobachtungen, die an anderen

*) In dem bereits angeführten Werke „de Dollard.“ Seite 156.

Punkten derselben Küste, wenn auch in Abständen von einigen Meilen gemacht sind, zum Grunde zu legen. Man kann demnächst den höchsten und niedrigsten Wasserständen, die während weniger Tage bei recht ruhiger Witterung gemessen sind, schon den mittleren Wasserstand der See an demjenigen Ufer mit hinreichender Schärfe feststellen, auf dem der beabsichtigte Deich ausgeführt werden soll. Nichts desto weniger pflegt man den Entwürfen zu neuen Eindeichungen, namentlich wenn sie sich nicht unmittelbar an schon bestehende Anlagen dieser Art anschließen, vollständige und gehörig ausgedehnte Beobachtungsreihen zum Grunde zu legen.

Sodann ist zu untersuchen, wie weit die höchsten Wasserstände sich über das gewöhnliche Hochwasser erheben. Hier ist der Einfluß, den die Richtung der Küste und ihre Gestalt ausübt, schon viel erheblicher, insofern diese Wasserstände nicht allein von der Höhe der Fluthen, sondern in großem Maasse auch von den Stürmen herrühren. In den Niederlanden pflegt man die Sturmfluthen vom 14. und 15. Januar 1808, vom 4. Februar 1825 und vom 24. Februar 1837 solchen Untersuchungen zum Grunde zu legen, wobei die Wasserstände des Meeres die größte bekannte Höhe erreichten. Letztere beträgt an den Niederländischen Küsten ohne Rücksicht auf den Wellenschlag $7\frac{1}{2}$ bis 9 Fuß über gewöhnliches Hochwasser, und der Unterschied von $1\frac{1}{2}$ Fuß zwischen diesen beiden Angaben bezeichnet den Einfluß der Lage der Küste gegen die Windrichtung. Die Fluth steigt am höchsten, wenn der Sturm von der Seite normal die Küste trifft, und im umgekehrten Falle am niedrigsten.

Endlich müssen die Deiche noch so weit erhöht werden, daß die Wellen nicht hinüberschlagen. Hierbei ist wieder die Richtung der Küste von großem Einflusse, so wie auch andre Umstände den Wellenschlag verstärken, oder mäßigen. Ist die Küste ostwärts gekehrt, oder wird sie von den westlichen Stürmen, die immer heftigsten sind, nicht getroffen, so genügt es, die Deiche 2 bis 3 Fuß über die bekannte höchste Fluth zu legen. Auf den westlichen Küsten ist die Höhe der Wellen dagegen ohne Vergleich größer; in der Provinz Seeland hat man beobachtet, daß sie bis 8 Fuß über den gleichzeitigen mittleren Stand des Meeres erheben. Der Wellenschlag ist aber von der Ausdehnung und Hienlage des Vorlandes abhängig. Wo dieses schmal und nicht ist, oder vollständig fehlt, treffen die Wellen mit voller Kraft

her ganzen Höhe den Deich, derselbe kann dagegen merklich niedriger gehalten werden, wenn ein weites Vorland ihn schützt.

Nach diesen Ermittlungen pflegt man die Höhe eines Deiches zu bestimmen, daß die Krone mit dem Kamme der Wellen zur Zeit der stärksten und höchsten Sturmfluthen in gleichem Horizonte liegt. Eine noch weitere Erhöhung würde sich nicht rechtfertigen, die Kosten der Anlage schon unter dieser Voraussetzung sehr bedeutend zu sein pflegen, und nahe wie die Quadrate der Höhen wachsen. Die Krone bleibt aber, wenn sie dieser Bedingung entspricht, keineswegs trocken, denn nicht nur spritzt das Wasser darauf, sondern einzelne Wellen laufen auch über sie fort, und ergießen sich in das Binnenland. Nichts desto weniger ist alsdann doch der eigentlichen Ueberströmung vorgebeugt und der Deich in dieser Beziehung vor Beschädigungen genügend gesichert.

Einige Angaben über die Höhe der Seedeiche werden nicht ohne Interesse sein, doch muß bemerkt werden, daß diese Höhen nicht auf größere Länge dieselbe bleibt, vielmehr immer verändert werden muß, so oft die Richtung des Deiches sich ändert, oder die Beschaffenheit des Vorlandes wechselt, oder vielleicht auch einzelne Stellen vorzugsweise gesichert werden sollen. So liegt der Deich in Vliessingen 16 Fuß über gewöhnlichem Hochwasser, während er weiter ostwärts bei Rammekens, in der Entfernung einer starken halben Meile schon $6\frac{1}{2}$ Fuß niedriger ist. Der Westcappelsche Deich, der auf der Westseite die Fortsetzung desselben Deiches bildet, liegt an den am meisten ausgesetzten Stellen 15 Fuß über dem gewöhnlichen Hochwasser. Der Schaardeich auf der Insel Schouwen, westwärts von Brouwershaven liegt auf $20\frac{1}{2}$ Fuß, und dieses ist die größte Höhe, die in den Niederlanden vorkommt. Der oben beschriebene Deich vor dem Helder wechselt zwischen 12 und 15 Fuß über gewöhnlichem Hochwasser, durchschnittlich liegen aber die Deiche an der Niederländischen Küste auf etwa $11\frac{1}{2}$ Fuß.

Die Krone der Seedeiche kann nicht füglich als Fahrweg benutzt werden, weil zur Zeit eines Sturmes die Passage darauf zu unbequem und wegen der aufschlagenden Wellen, vor denen die Pferde zu scheuen pflegen, auch zu gefährlich sein würde. Aus diesem Grunde bedarf die Krone nicht einer so großen Breite, als auf Flusdeichen, und man hält, wenn das Profil im Uebrigen normalmäßig ist, eine Breite von 10 Fuß für genügend. Nichts desto

weniger muß besonders bei höheren Deichen dafür gesorgt werden, daß das Material, welches zu ihrer Instandsetzung erforderlich ist, bis nahe zur Höhe der Krone angefahren werden kann. Der Weg, mit dem sie zu diesem Zwecke versehen sind, liegt auf dem hohen Banket an der Binnenseite der Krone. Aus diesem kann man, wie vielfach geschieht, dieses Banket als die Krone des Deiches, und jene Erhöhung, die als Krone wird, nur als eine Kade betrachten. Jedenfalls muß dies besonders wenn sie eine bedeutende Breite hat, mit starkem Gefälle versehen werden, damit das aufschlagende Wasser fließen kann, und hieraus ergibt sich wieder die eigentliche Anordnung, daß eine breite und horizontale Krone gar nicht stirbt, vielmehr die obere Fläche nach der Seeseite sehr gleichmäßig ansteigt, und der Rand derselben, der sie von der äußeren flachen Dossirung begrenzt, der einzige Theil des Deiches ist, der die erforderliche Höhe hat, und das Ueberschlagen des Wassers verhindert. Bei den Deichen der Niederländischen Küste sind nicht allein wegen der steilen äußeren Dossirungen die Krone häufig Beschädigungen ausgesetzt sind, pflegen die Krone fast eben so hohen Bankete 18 bis 24 Fuß breit, und als Verbindungswege zu sein. Sie werden entweder als Klinker behandelt (Fig. 31), oder mit kleinen Seemussheln beschichtet, welche eine sehr ebene, harte und für das leichte Fuhrwerk auch noch eine feste Straße bilden. Auf die Unterhaltung derselben wird große Aufmerksamkeit verwendet, woher jedes Geleise sofort gefüllt, und wenn die Erhöhung des Deiches nöthig wird, die ganze Decke sorgfältig entfernt wird.

Diese bedeutende Breite gewährt nicht nur bei vorübergehenden Beschädigungen eine große Erleichterung in der Anfuhr des Materials, sondern die Einbrüche der Dossirung auf der äußeren Seite sind weniger bedenklich, und endlich kann man, wenn einmal eine Aufkantung vorgenommen werden muß, das Material auch von der Krone des Deiches selbst entnehmen.

Für die äußeren und inneren Dossirungen derselben gelten dieselben Regeln, wie bei den Stromdeichen, vornehmlich, daß sie aus guter Erde bestehn und durch ein hinreichend hohes Vorland geschützt werden, auch nicht etwa in besonderen Umständen eine Abweichung hiervon begründen. Beraste

in dreifacher Anlage auf der äußern, und $1\frac{1}{4}$ facher auf der Seite sind in solchen Fällen vollkommen genügend. Der Deich steht alsdann selbst dem heftigsten Wellenschlage, ohne eines Schutzes zu bedürfen. In solchen günstigen Verhältnissen sind viele Deiche im Oldenburgischen, sowie auch in Ostfriesland weiter westwärts bis zum Laauwer See. Großentheils sind indessen Deiche, die in neuerer Zeit auf stark anwachsendem Boden aufgeführt sind, die also, wenn sie auch zuweilen solchen Angriffen ausgesetzt, dennoch vergleichungsweise gegen keineswegs besonders bedroht werden. Für Deiche, die dem Wellenschlage der See ausgesetzt sind, und namentlich wenn das Land ganz oder theilweise ihnen fehlt, auch wohl gar Seesand der zähen Klaierde zu ihrer Aufschüttung benutzt wurde, sind jene Böschungen dagegen nicht genügend, und man bedarf andern viel kräftigeren und kostbareren Schutzmitteln gegen die wiederholten gefahrdrohenden Beschädigungen und Durchbrüche. Von diesen Mitteln wird im Folgenden die Rede sein, es ist nur zu erwähnen, daß es nothwendig ist, die äußere Böschung so flacher zu halten, je weniger Zusammenhang die Erde hat. Man unterscheidet drei Classen der Seedeiche an. Zu der ersten rechnet er diejenigen, die unmittelbar gegen die Nordsee gerichtet sind und den heftigsten Stürmen ausgesetzt sind, auch kein Vorrecht haben, wie der Westkappelsche und der Westwaterdeich (westlich von Vliessingen) auf der Insel Walcheren, oder der erwähnte Scharren-Deich auf der Insel Schouwen. Deiche dieser Art sollen mit Rücksicht auf den Umstand, daß sie meistens aus Sand bestehn, durchschnittlich zehnfache Anlage in der Böschung haben. Er empfiehlt jedoch, dieselbe nicht gleichmäßig der ganzen Höhe darzustellen, sondern in der Art, wie er bereits viel früher vorgeschlagen hatte, den untern Theil steiler, als den obern zu halten, also die Dossirung vom Fuß der Krone nach und nach flacher werden zu lassen. Diese Anordnung rechtfertigt sich in sofern, als der Wellenschlag heftiger und zerstörender wird, als der Wasserstand höher ist: Der Fuß soll daher nur mit sechsfacher Anlage steigen, aber bald in eine etwas flachere übergehn, und Aenderungen im Sinne sich so vielfach wiederholen, daß die ganze Böschung durchschnittlich zehnfache Anlage erhält. Dabei ist noch darauf

Rücksicht zu nehmen, daß die beste Erde sorgfältig zur Bekleidung der Dossirungen benutzt wird, um hier die Bildung eines Rasens noch möglich zu machen. Die Grasnarbe kann aber allen Umständen nur bis gegen das gewöhnliche Hochwasser geführt werden; setzt sich daher die Dossirung des Deiches tiefer fort, so muß dieser Theil schon als Seeufer behandelt und auf andre Weise gedeckt werden.

Ähnliche Rücksichten werden auch für die zweite Classe Deiche empfohlen, nämlich für solche, die entweder an mehr gesteckten Stellen, oder an den Mündungen der Seegatte und Strömen. Sie sollen äußere Böschungen erhalten, die durchschnittlich fünffache Anlagen haben. Für diejenigen Deiche endlich, welche besonders günstig liegen und keinem starken Angriffe ausgesetzt sind, genügt in der äußern Böschung die dreifache und zum Theil sogar die zwei und einhalbfache Anlage.

Was die Binnendossirung betrifft, so begnügt man sich in vielen Fällen schon mit einfacher Anlage, doch ist diese selbst auf sehr gutem Boden nur wenig haltbar. Wenn die Erde mit Wasser versetzt ist, so ist mindestens die ein und einhalbfache Anlage zu wählen, und bei reinem Sande mindestens die zweifache, weil abgesehen von äußern Beschädigungen schon der Regen in steilen Böschungen Einrisse verursacht. Außerdem muß man immer auf Rücksicht nehmen, daß nur die Grasnarbe diesem Theile des Deiches Schutz bietet, daß aber eine solche auf den steilen Flächen sich nicht regelmässig ausbildet. Selbst bei ein und einhalbfacher Anlage überzieht der Rasen noch nicht in ebener und ununterbrochener Fläche die Dossirung, oder wenn dieses auch Anfangs der Fall zu seyn scheint, so zeigen sich darin doch sehr bald einzelne Vertiefungen, und die Instandhaltung ist um so kostbarer, als man bei starker Witterung den Deich gewöhnlich beweiden läßt.

Bei Seedeichen verbietet sich außerdem die Anwendung steiler Binnendossirungen dadurch, daß einzelne Wellen heftig schlagen, und die großen Wassermassen derselben nicht abfließen können, ohne Einrisse zu veranlassen. Deshalb dürfte die zweifache Anlage vorzugsweise zu empfehlen seyn. Diese genügt aber nicht, wenn der Deich zuweilen überströmt wird. Solche Fälle kommen, wie bereits erwähnt, hin und wieder in den Niederlanden vor. Der Rheinländische Slaperdeich zwischen Amsterdam

Haarlem, der während anderthalb Jahrhunderten bei allen ungewöhnlich hohen Wasserständen und oft sehr stark überströmt wurde, leistete immer genügenden Widerstand und bedurfte keiner kostbaren Instandsetzungen, seitdem die Binnendossirung eine eilf- bis zwölffache Anlage erhalten hatte. Dieselbe flache Böschung hat man auch in den Jahren 1825 und 1826 den Ueberlaßsdeichen am Süder-See in der Provinz Over-Jjssel gegeben und diese haben zum Theil im ersten Winter schon starke Ueberströmungen ohne alle Beschädigung ausgehalten, einer derselben in der Nähe von Kampen wurde aber im obern Theile fortgespült, ohne daß eine tiefe Rinne, oder ein Kolk, wie bei sonstigen Durchbrüchen, sich bildete.

Die sorgfältige Wahl des Materials und die gute Ausführung trägt wesentlich zur Erhaltung des Deiches bei. Es gelten in dieser Beziehung für Seedeiche ungefähr dieselben Regeln, wie für Stromdeiche, doch kommen wegen der localen Verhältnisse bei den ersteren manche Rücksichten in Betracht, die bei den letztern unbeachtet bleiben dürfen. Wo ein junger, gehörig angewachsener Groden eingedeicht werden soll, findet man jedesmal in unmittelbarer Nähe den Marschboden, der sich zu Deichschüttungen vorzugsweise eignet, er besteht aus sehr zäher Thonerde. Derselbe findet sich auch vorzugsweise in allen Marschen, da man ihn aber bei größeren Reparaturen und selbst bei gewöhnlicher Unterhaltung der Deiche aus dem Binnenlande nicht entnehmen kann, so wird man auf das Material angewiesen, welches der Aufsendeich liefert, oder das man sonst mit den mindesten Kosten beschaffen kann. Dieses ist der Grund, daß man zuweilen und sogar bei den wichtigsten Deichen gezwungen ist, Erdarten zu verwenden, die weit weniger brauchbar sind. Demnächst ist die mit Sand und vegetabilischen Stoffen versetzte Acker- oder Gartenerde noch sehr brauchbar, obwohl sie dem Angriffe der Wellen weniger widersteht, als der reine Thon. Ihre Theilchen sind in sich nicht so fest verbunden, dafür lagern sie sich aber bei der Schüttung noch dichter, und es tritt dabei nicht die Gefahr ein, daß beim Zusammentrocknen sich Spalten und Risse im Innern bilden, was bei der Klaierde zuweilen geschieht, wodurch starke Quellungen veranlaßt werden.

Sehr sandiger Boden und selbst reiner Sand muß zuweilen zu Deichen verwendet werden, wenn kein anderes Material beschafft werden kann. Die ganze Masse hat dabei gar keinen Zusammen-

hang, und sobald sie vom Wellenschlage angegriffen wird, so pflagen die Zerstörungen übermächtig groß zu sein. Dazu kommt noch der Uebelstand, daß das Wasser stark durchsickert und sonach bedeutende Quellungen eintreten. Nichts desto weniger findet beim Sande doch der günstige Umstand statt, daß er ein großes spezifisches Gewicht hat, und die ganze Masse sich daher weder heben, noch auch leicht fortgeschoben werden kann. Wenn man, wie in der unmittelbaren Nähe der See, zuweilen gezwungen ist, den Deich aus reinem Sande aufzuführen, so müssen wenigstens seine Dossirungen, und vorzugsweise die äußere Böschung mit einer starken Lage Thonerde sorgfältig überdeckt werden, um eines Theils den Sand vor dem Wellenschlage zu sichern, sodann aber auch um hier eine kräftige Grasnarbe zu bilden, die auf dem reinen Sande weder dargestellt, noch auch erhalten werden kann. In den Niederlanden giebt es Deiche dieser Art, die sich sehr gut halten, aber auf der äußern Fläche 3 Fuß hoch mit Klaierde überdeckt sind.

Moorerde und vollends Torf dürfen beim Deichbau nie verwendet werden, weil bei diesen nicht nur alle Uebelstände wie beim Sande eintreten, sondern sie außerdem auch so leicht sind, daß sie nahe ihr ganzes Gewicht im Wasser verlieren, und zuweilen sogar darauf schwimmen. Dazu kommt noch, daß sie beim Trocknen sehr stark schwinden, und alsdann Risse in dem Deiche entstehen, die bei hohen Fluthen große Wassermassen hindurchlassen. Wenn diese Risse sich gewöhnlich nach einiger Zeit auch wieder schließen, so kann es doch geschehn, daß die Quellungen schon vorher so viel Material ausgespült haben, daß der Deich dadurch in die größte Gefahr kommt. Der Torf findet freilich hin und wieder beim Deichbau eine eigenthümliche Anwendung, indem man daraus eine Art von Mauer bildet, wogegen der Deich sich lehnt, doch ist dieser Schutz im höchsten Grade unsicher und zugleich kostbar, indem man ihn in jedem Jahre erneuen muß. In dieser Weise wurde der überaus steile Deich vor der Kirche Moorlose an der Weser in jedem Winter gesichert, bis er durch die Stromcorrectionen ein hinreichend breites Vorland gewann, und gehörig profilirt werden konnte.

Bei Ausführung der Deiche ist vorzugsweise dahin zu sehn, daß alle Theile der Schüttung, sowol unter sich, als auch mit dem Untergrunde in innige Verbindung gebracht werden. Zu diesem

wird der Boden von dem Rasen entblößt, auch beseitigt zu größerer Tiefe die Wurzeln der Bäume, Sträucher und Gewächse, und lockert die Erde nicht nur in der Oberfläche Hacke auf, sondern gräbt sie um, oder pflügt sie auf, und es geschieht dieses, wenn sie recht fest und hart ist. Die Erde zur Schüttung benutzt wird, muß gleichfalls ganz rein von allen Stoffen sein, weil neben solchen leicht Wasseradern entstehen. Man bringt sie in dünnen Lagen auf, die nicht leicht, als etwa 12 Zoll sind, und jede Lage muß, bevor die folgende darüber geschüttet wird, möglichst comprimirt und mit der vorher befindlichen verbunden werden. Dieses geschieht entweder beim Aufbringen der einzelnen Lagen, indem man sich dabei Wagen oder Karren bedient, die mit Pferden oder Ochsen bespannt sind. Sowol unter den Hufen der Zugthiere, als unter den Rädern erfolgt alsdann die Compression der bereits aufgeschütteten Lage. Damit jedoch diese Befestigung sich über die letztere vollständig ausdehnt, so dürfen die Karren nicht immer in demselben Orte stehen bleiben, wobei allerdings der Zug etwas vermindert werden muß, vielmehr müssen die Pferde bald hier und bald dort geführt werden, um die ganze frisch angeschüttete Schicht zu treffen und zu bearbeiten. Es ist auch nothwendig, die entstandenen tieferen Stellen immer sogleich wieder auszuebnen. Durch Holzbahnen kann die Anfuhr nicht erleichtert werden, weil gerade das Einsinken der Pferde und Wagen zur Befestigung der Schüttung dient. Wenn dagegen die Erde durch Menschen in Karren angeschoben wird, was jedoch nicht leicht geschieht, so ist man gezwungen, Laufbretter zu benutzen, weil sonst die Arbeit gar zu schwierig sein würde. In diesem Falle muß noch besonders für die Compression und dichte Ablagerung der einzelnen Erdschichten gesorgt werden, welches geschieht durch Abrammen.

Obgleich man indessen auch die Erde aufgebracht und die dichte Ablagerung gesorgt hat, so tritt dennoch in dem Deiche jedesmal eine starke Senkung ein, und zwar ist diese um so größer, je fetter der Thon ist, den man verwendet. Hat die Menge des darin enthaltenen Wassers einen wesentlichen Einfluß auf das Sinken des Deiches, und Letzteres wird um so mehr, je feuchter der Thon war. Hierdurch begründet sich die Regel, daß man, soviel es geschehn kann, mit der Aufführung

hang, und sobald sie vom Wellenschlage angegriffen gen die Zerstörungen übermäfsig grofs zu sein. Daz der Uebelstand, dafs das Wasser stark durchsickert deutende Quellungen eintreten. Nichts desto weni Sande doch der günstige Umstand statt, dafs er ei sches Gewicht hat, und die ganze Masse sich d noch auch leicht fortgeschoben werden kann. W der unmittelbaren Nähe der See, zuweilen gezwu aus reinem Sande aufzuführen, so müssen w sirungen, und vorzugsweise die äufsere Böschu Lage Thonerde sorgfältig überdeckt werden, Sand vor dem Wellenschlage zu sichern, soda eine kräftige Grasnarbe zu bilden, die auf d dargestellt, noch auch erhalten werden kan. giebt es Deiche dieser Art, die sich sehr äufsern Fläche 3 Fufs hoch mit Klaierde i

Moorerde und vollends Torf dürfe wendet werden, weil bei diesen nicht beim Sande eintreten, sondern sie auf dafs sie nahe ihr ganzes Gewicht im W len sogar darauf schwimmen. Dazu konn nen sehr stark schwinden, und alsda stehn, die bei hohen Fluthen grofse Wenn diese Risse sich gewöhnlich i schliessen, so kann es doch gesche vorher so viel Material ausgespült h die grösste Gefahr kommt. Der To beim Deichbau eine eigenthümliche ches eine Art von Mauer bildet, wogeg -ehr a dieser Schutz im höchsten Grade den m dem man ihn in jedem Jahre ern nur den der überaus steile Deich vor de ach den V jedem Winter gesichert, bis er ist reichend breites Vorland gew einen Erdle konnte. Man geh

Bei Ausführung der I) die alle Theile der Schüttung: die gute Lage in Untergrunde in innige Ver: - in der und daran - möglich

obere Theil der äussern Lage durch die horizontale Fuge b wird.

Wenn man bei Schüttung eines Deiches sehr nassen, zähen Thon verwendet hat, und demselben vielleicht wegen stiger Witterung auch nicht Gelegenheit zum Austrocknen einzelnen Lagen geben konnte, so zieht er sich später merkbar zusammen, oder schwindet. Dabei entstehn Risse im Deiche, die nur das Durchquellen ausserordentlich befördern, sondern den ganzen Deich gefährden und seinen Bruch veranlassen. Man muß daher sowol vor dem Aufbringen der Rasen, als später sehr aufmerksam den Deich untersuchen, und wo solchen oder Risse sich bemerklich machen, die oft bei geringer Tiefe haben, muß man sich bemühen, sie recht dicht zu schließen. Storm Busing empfiehlt, hierzu recht fetten, feinen ungelbten Thon zu verwenden, den man hineinschütten und mit Instrumenten recht fest anstampfen soll. Wenn diese erste Schüttung auch nicht vollständig den Zweck erfüllt, und der Riss einiger Zeit sich wieder öffnet, so soll es doch gelingen, die Rille nachhaltig und dicht zu schließen, wenn man ihn wieder in gleicher Weise behandelt.

Fast jedesmal trifft man in der Deichlinie einzelne tiefere Stellen an. Gewöhnlich sind dieses die Rillen, durch welche das Wasser ein- und die Ebbe abgeflossen ist, die aber beim Anwachsen des Bodens, und so lange derselbe nicht gegen den Druck der Fluthen abgeschlossen war, noch in Wirksamkeit blieben und sich daher weder mit dem Niederschlage füllen, noch sie keine Compression erlitten, die Festigkeit des Bodens annehmen konnten. Die lockere Beschaffenheit des Grundes wird durch die Vegetation der Sumpfpflanzen meist noch mehr erhöht, und die Wurzeln des Schilfes und Rohres bilden eine Masse, die bei der Schüttung des Deiches nicht nur übermässig zusammensinkt, sondern auch wegen des Mangels an aller Verbindung ein starkes Durchquellen veranlaßt. Oft findet man hier schon in mäßiger Tiefe einen festen und reinen Untergrund. In diesem Falle muß man die vegetabilischen Stoffe und das zwischen abgelagerten Schlamm durch Graben und Baggern sorgfältig entfernen, bis man den tragfähigen Untergrund erreicht, auf diesem die Schüttung des Deiches mit recht trockner

beginnen, der bei der Berührung des Wassers nicht so leicht in Schlamm verwandelt wird. Es dürfte auch nöthig sein, diese Arbeit möglichst zu beschleunigen, um recht bald die angeschüttete Fläche durch Abrammen in eine compacte Masse verwandeln zu können. Nichts desto weniger pflegen solche Stellen sich doch jedesmal ungewöhnlich stark zu setzen, und müssen daher mehr, als andere überhöht werden.

Wenn dagegen der Untergrund bis zu grosser Tiefe aus Moor oder Schlamm besteht, so daß dessen Beseitigung zu kostbar oder ganz unmöglich wird, so muß man andre Mittel ergreifen, und zum Theil mit den sonst gültigen Grundsätzen des Deichbaues im Widerspruche stehn. In seltenen Fällen, und besonders wenn der Deich sich nicht hoch erhebt, auch die obern Schichten der weichen Stelle noch ziemlich fest sind, soll es gelungen sein, das Sinken dadurch zu vermeiden, daß man die Böschungen sehr dicht gehalten hat. Hierdurch wird freilich das ganze Gewicht des Deiches vergrößert, aber noch mehr verbreitet sich die Basis, so daß der Druck, den jede Stelle des Untergrundes erfährt, etwas geringer wird. Dabei muß jedoch vorausgesetzt werden, daß der Deich in sich einen steifen Körper bildet, von dem der mittlere Theil oder die Krone nicht tiefer herabsinken kann, als die beiden Seitenprismen, welche die Böschungen bilden, was doch kaum zu erwarten ist. Man hat bei der Wahl dieser Anordnung aber noch eine andre Absicht. Wenn nämlich in dem Schlamme eine schwere und große Masse versinkt, so erhebt sich der verdrängte Boden wellenförmig auf beiden Seiten, und dieses kann um so leichter geschehn, je kürzer der Weg ist, den er dabei zurücklegen muß, oder je weniger Breite die aufgeschüttete Belastung hat. Es wird also auch die sehr flachen Dossirungen dieses Aufquellen ganz oder theilweise verhindert, und auf solche Art können recht breite Deiche das Sinken etwas mäßigen. Man hat jedoch in vielen Fällen unter denselben Verhältnissen auch das entgegengesetzte Verfahren angewendet, und dem Deiche sowol eine recht schmale Krone, als auch sehr steile Dossirungen gegeben, um sein Gewicht möglichst zu mindern.

Wenn der Untergrund von der angegebenen Beschaffenheit ist, und gerade seine Oberfläche, wie oft vorkommt, noch die meiste Festigkeit besitzt, so pflegt man bei der Schüttung des Deiches

dieselbe gar nicht anzugreifen. Man reinigt also wohl den Rasen von den darauf liegenden oder den hindurch gewachsenen sonstigen Pflanzen, indem man Schilf und Rohr u. d. gl. recht kurz abmäht, aber den Rasen oder die sonstige benarbte Oberfläche sticht gar nicht ab, sondern bringt auf dieselbe die Erde auf. Um Quellungen in dieser Fuge einigermaassen zu verhindern, pflegt man nur am Fusse der äussern Dossirung einen Graben zu ziehen, mit guter Klaierde gefüllt und fest ausgestampft wird. Diese Erdmasse stellt die Verbindung zwischen der Dossirung und dem Untergrunde dar, und erschwert sonach das Eindringen des Wassers bei hohen Fluthen.

In manchen Fällen, und namentlich in der Provinz Seeland, man auch das Gewicht der Deiche dadurch wesentlich vermindert, daß man sie zum Theil aus Faschinen aufgeführt hat. Eine oder mehrere Lagen Packwerk, deren Stärke gemeinhin dem vierten Theile der ganzen Höhe des Deiches gleich ist, werden zunächst auf den Rasen gelegt, und sodann mit Erde überschüttet. Letztere bildet nicht nur den obern Theil des Deiches, sondern auch die beiderseitigen Böschungen, und dieselben werden in der bereits beschriebenen Art wieder mit dem Untergrunde in Verbindung gesetzt. Dieses Verfahren ist wegen der großen Masse Faschinen, die dabei gebraucht werden, überaus kostbar; außerdem bietet ein solcher Deich, besonders wenn er schon mehrere Jahre alt ist, und die Faschinen verrottet sind, nicht entfernt die Sicherheit eines gewöhnlichen Erddammes, und endlich sind dabei die Quellungen auch sehr bedeutend.

Ueber die Bekleidung der Seedeiche mit Rasen ist nichts besonderes zu bemerken, nur verdient erwähnt zu werden, daß man in den Niederlanden ganz allgemein die gut benarbten Deiche bei trockner Witterung beweiden läßt, jedoch vorzugsweise nur durch Hornvieh. Auch ist es Regel, selbst dieses erst im dritten Jahre, oder wenn der Rasen schon fest angewachsen ist, die Dossirungen betreten zu lassen. Mit Anfang des Monats October hört aber die Weide auf.

Was die Wahl der Deichlinie bei neuen Eindeichungen betrifft, so gelten hier zum Theil dieselben Regeln, wie bei Stromdeichen. Man muß mit der kürzesten Linie die größte Fläche zu umschließen sich bemühen, dabei muß aber der Deich möglichst

auf hohen und festen Boden gelegt werden. In wie weit die letzte nicht eine Abweichung von der ersten fordert, bleibt jedesmal der näheren Untersuchung vorbehalten, doch dürfen scharfe Ecken, und namentlich vorspringende, niemals vorkommen, weil diese einem heftigen Angriffe durch die Wellen ausgesetzt sein würden. Der Wellenschlag muß aber besonders hierbei berücksichtigt und daher, wenn es irgend vermieden werden kann, der Deich nicht so gelegt werden, daß er von den heftigsten Stürmen normal getroffen wird. Dieses wird zuweilen nicht zu umgehn sein, aber in solchem Falle muß man bemüht sein, ihm durch einen recht breiten und hohen Außendeich hinreichenden Schutz zu geben. Die nothwendige Breite dieses Außendeiches, worüber bereits das Nöthige mitgetheilt wurde, ist maßgebend bei Beantwortung der Frage, wie weit man die Eindeichung überhaupt herausrücken kann.

Schließlich ist noch auf einen sehr wichtigen Punkt bei Erbauung von Seedeichen aufmerksam zu machen. Dieselben werden in der Regel auf einem Terrain ausgeführt, das etwas über dem mittleren Hochwasser und unter dem der Springfluthen liegt. In der kurzen Zwischenzeit von einer Springfluth bis zur nächsten kann man die Deichanlage nicht vollenden, gemeinhin ist dieses sogar in einem Sommer nicht möglich. Um nun zu verhindern, daß nicht die nächsten Springfluthen schon bis an die so eben aufgeschüttete Erdmasse treten, die sie unfehlbar zum Theil abwaschen und an deren Enden sie bedeutende Ausrisse bilden würden, indem sie die noch nicht ganz abgeschlossene Fläche dahinter füllen und daraus später wieder zurückfließen, so bleibt nur übrig, die ganze Baustelle ohnerachtet ihrer sehr großen Ausdehnung mit einer Art von Fangedamm oder einem niedrigen Kade-Deich zu umschließen. Derselbe erhebt sich meist nur etwa 2 Fuß über gewöhnliche Springfluthen. An der Deutschen und Niederländischen Nordsee-Küste bleibt er daher auf einem hohen Watte noch ziemlich niedrig, und man braucht ihn auch nicht mit besonders flachen Böschungen zu versehen und mit Rasen zu bekleiden. Er soll nur während der Sommer-Monate, wo keine heftigen Stürme zu erwarten sind, nothdürftigen Schutz gewähren, und wenn er zu durchbrechen droht, so kann er an den gefährdeten Stellen durch Strach oder auf andre Weise gesichert werden. Im Schutze dieses Dammes wird alsdann der neue Deich ausgeführt, und wenn derselbe so lang ist, daß man

ihn in einem Sommer nicht fertig stellen kann, so ist es an theilhaftesten, ihn in zwei Theile zu trennen, von denen der erst im nächsten Jahre in Angriff genommen wird. Der Kad muß alsdann eben so wie die erste Hälfte des Hauptdeiches dahinter liegenden alten Deich angeschlossen werden. Diese Anschlüsse lassen sich aber auch vereinigen, indem dieser The Kadedeiches im Spätherbste so erhöht und verstärkt wird, daß auch die Winterfluthen von der neu eingedeichten Fläche ab Man giebt ihm aber solche Lage, daß er den Stürmen mög wenig ausgesetzt ist, und er sonach ziemlich schwach profilirt den darf. Wenn demnächst im folgenden Sommer die zweite des Deiches im Schutze einer zweiten Kade erbaut ist, wird der Anschlußdeich beseitigt.

Die zum Deiche erforderliche Erde wird jedesmal aus dem lande oder dem Aufsendeiche entnommen, und damit die Erden nicht etwa in tiefe Wasserläufe sich verwandeln, in denen starke Strömung sich darstellt, so dürfen sie nicht im Zusammenhange stehn, vielmehr läßt man breite Erdstreifen zwischen ganz unberührt. Ihre Ausfüllung mit neuem Schlick pflegt all in wenig Jahren vollständig zu erfolgen.

Die Erbauung der Entwässerungs-Schleuse oder des Sieb erfordert eine besondere Vorsicht. Hiervon wird im Folgenden Rede sein, und hier wäre nur zu bemerken, daß man dazu Untergrund wählen muß, woher nicht leicht die Abführung Wassers in derselben Rille erfolgen kann, in welcher dieses von Eindeichung vom Groden abfloß.

§. 16.

Sicherung der Seedeiche.

Die Seedeiche, welche an sich nicht die erforderliche haben, oder wegen Unzulänglichkeit des Aufsendeiches bedroht werden, pflegt man durch gewisse Sicherungs-Maßnahmen schon vor dem Eintritt wirklicher Beschädigungen gegen solche schützen. Dieses geschieht unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten. Diese Schutzmittel sind nämlich entweder dauernd, oder bringt sie nur während des Winters in Anwendung, wenn die

guten Stürme und höchsten Fluthen zu erwarten sind, und beseitigt sie demnächst wieder beim Eintritt des Frühjahrs. Die ersteren üben unbedingt den Vorzug, daß sie auch bei ungewöhnlich unruhiger Witterung im Sommer zur Wirksamkeit kommen, also auch in diesem Falle die Gefahr abwenden, doch sind sie viel kostbarer, als die letzteren. Demnächst wird hier auch von solchen Fortbeidigungs-Arbeiten die Rede sein, die man erst vornimmt, wenn die Beschädigungen bereits eingetreten sind. Diese zerfallen wieder in zwei Klassen, je nachdem man sie mit Muße ausführen kann, wodurch der Deich wieder in den normalen Zustand versetzt wird, oder sie sollen nur der augenscheinlichen Gefahr vorbeugen und den Deich nothdürftig erhalten. Letztere müssen also später wieder beseitigt und durch die ersteren ersetzt werden.

Wenn ein Deich den im vorigen Paragraph bezeichneten Regeln entsprechend ausgeführt ist und gehörig unterhalten wird, und also aus zähem Thone besteht, die gehörige Höhe und hinreichend flache und gut benarbte Dossirungen hat, auch vor ihm ein breiter und hoher Aufsendeich liegt, so bedarf er keines weiteren Schutzes. Diese günstigen Verhältnisse treten indessen vorzugsweise nur an Meeres-Buchten oder an solchen Ufern ein, die keinem besonders heftigen Angriffe ausgesetzt sind. An der offenen See sind sie sehr selten, und kommen daselbst vielleicht niemals in vollem Maasse vor. Am häufigsten geschieht es, daß man die Uferdeckung zur rechten Zeit versäumt hat, also das Vorland abgebrochen ist. Will man einen Deich, dessen Fuß bereits an den Rand des Ufers tritt, noch erhalten, so muß jedenfalls die Uferdeckung vorgenommen werden, aber dieselbe genügt allein nicht mehr, weil die Wellen alsdann schon in ungeschwächter Kraft den Deich treffen, und den Rasen, der ihn schützt, sehr bald zerstören. Vielfach sind die Umstände aber noch ungünstiger und namentlich ist bei einem großen Theile der Niederländischen Deiche selbst diese spätere Uferdeckung versäumt oder in ungenügender Weise ausgeführt, so daß auch die flache äußere Böschung dem Deiche fehlt und derselbe sehr steil aus der Tiefe ansteigt. In einzelnen Fällen ist diese Böschung gar nicht mehr vorhanden und der Deich muß alsdann an eine senkrechte oder beinahe senkrechte Wand gelehnt werden. In dieser Weise sah man vor einigen Jahrzehnden zwischen Amsterdam und Haarlem sowol Bohlwerke, als auch Mauern,

II. Eindeichungen am Meere.

Die Stelle der äussern Dossirung des Sloter-Deiches erstreckt sich bei Zwart Sluis an der Mündung der Vechte ohnfern Zwart Sluis über das Bohlwerk, welches den Deich schützte, in geringer Entfernung von demselben und der Zwischenraum war mit Torf bedeckt. Zu diesen Deichen, die gar keine äussere Dossirung haben, gehören vorzugsweise die sogenannten Wierdeiche an der See, die in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts noch vielfach in grosser Ausdehnung vorhanden waren.

Deiche, welche einem starken Wellenschlage ausgesetzt sind, werden häufig durch Steindecken geschützt. Wie sich die Nützlichkeit dieses Mittel aber auch ist, so verbietet sich die Anwendung doch in den meisten Fällen wegen der grossen Ausdehnung, weil natürliche Steine in den Marschgegenden nicht zu bekommen, und künstliche nicht wohlfeil genug sind, um die weitläufigen Dossirungen der Deiche damit zu bedecken. Es findet nur eine beschränkte Anwendung dieser Deckungsart statt selbst wo man sich dazu entschliesst, wird sie gemeinlich zur Sicherung des untern Theiles der Dossirungen benutzt, während die obere entweder durch die Rasenbekleidung, oder vielleicht auch noch durch die bereits angedeuteten zeitweisen Deckungen geschützt wird. Obwohl der Wellenschlag um so verheerender wirkt, je höher die Fluth steigt, und sonach gerade die oberste Spitze des Deiches alsdann am meisten leiden, so rechtfertigt sich die Anwendung dennoch dadurch, dass sehr hohe Fluthen nur selten eintreffen, auch nach kurzer Dauer der Wasserstand wieder sinkt, so dass man also mit grosser Sicherheit hoffen darf, die entstandenen Beschädigungen ausbessern zu können, bevor sie zu einer unheilbaren Grösse angewachsen sind.

Ueber die Ausführung dieser Steindecken ist wenig zu sagen, da sie mit denjenigen genau übereinstimmen, welche bei Uferbefestigungen üblich sind, von denen im folgenden Abschnitte die Rede sein wird. Hier wäre nur zu erwähnen, dass man vor einigen Jahren in den Niederlanden den gebrannten Steinen dadurch eine grössere Anwendung für diesen Zweck zu verschaffen suchte, dass man sie in ungewöhnlicher Grösse darstellte. In England sind Ziegel zur Deckung der Meeresufer sehr brauchbar, und schützen sogar wegen ihres genauen Schlusses den Untergrund ständiger, als eine Decke aus gewöhnlichen Feldsteinen. Si

so wenig Masse, daß sie von den Wellen fortgerissen werden, und sie den dichten Schluß verloren haben, und eine größere Angriffs-Fläche bieten. Aus diesem Grunde muß man sie noch da- in ihren Lagern zu halten suchen, daß man sie nur auf flachen Böschungen benutzt, und hierdurch wird ihre Anwendung außerordentlich beschränkt.

In den Jahren 1811 bis 1813 ließ der Ober-Ingenieur Wilde- zuerst solche größere Steine formen und brennen, und ver- wendete sie zur Bekleidung des sogenannten Bentsdijk bei Vollen- in der Provinz Overijssel. Ihre quadratische Oberfläche hielt an den Seiten 16 Zoll und ihre Dicke maas 7½ Zoll. Jeder Stein war daher etwas über einen Cubikfuß groß und wog 128 Pfund. Die Verwendung geschah in der Art, daß eine Böschung von drei- r Anlage sich in der Höhe des niedrigen Wassers an eine dicke aber dicht schließende Pfahlwand lehnte. Der Boden wurde zuerst mit drei Schichten gewöhnlicher Ziegel überdeckt, diese lagen, wie bei gewöhnlichen Mauern auf den flachen Seiten, um die Fugen gehörig zu wechseln, waren nur die Steinreihen in der ersten Schicht zum Ufer parallel gelegt, die der folgenden Schichten diese dagegen unter Winkeln von 30 Graden, indem die Fugen in der einen Schicht nach der rechten und in der andern nach der linken Seite gewendet waren. Auf diese Art wurde die Richtung der Fugen vollständig vermieden. Hierüber lagen die erwähnten großen Steine. Sie bildeten Reihen in der Richtung des Ufers, und die einzelnen Steine waren so versetzt, daß die Fugen immer auf die Mitte der Steine in der nächsten Reihe kamen. Diese Steindecke soll sich sehr gut und beinahe ohne Reparatur während der dreißig Jahre, seitdem sie ausgeführt wurde, erhalten haben.

Später versuchte Corman die Steine, welche beinahe dieselbe Größe hatten, so zu formen, daß sie auf allen Seiten mit halber Dicke versehen waren. Dadurch wurde es freilich möglich, eine bessere Lage zu bilden, in welcher sich keine durchgreifende Fugen bilden konnten. Dieser Versuch mißglückte indessen, indem die vortretenden Backen bei ihrer geringen Stärke bald abbrachen. Am meisten haben die Steine aus der Ziegelei des Fabrikanten Terwindt Anwendung gefunden, die, wenn sie auch noch keiner so langen Zeit unterworfen sind, sich doch eben so gut, wie die ersten zu

halten scheinen. Sie liegen nur stumpf neben einander, sind 18 Zoll lang, $11\frac{1}{2}$ Zoll breit und $7\frac{1}{2}$ Zoll stark, ihr cubischer Inhalt beträgt daher etwas über drei Viertel Cubikfuß. Dafs diese sämtlichen Steine sehr hart gebrannt sein müssen, darf kaum erwähnt werden.

Man hat in den Niederlanden auch den Versuch gemacht, die Steindecke auf den Deichen nicht mit gleichmäfsiger Neigung ansteigen zu lassen, sondern sie vielmehr als hohle Cylinder-Fläche darzustellen. In dieser Art wurde im Jahre 1836 eine 37 Ruthen lange Deichstrecke auf der Insel Goeree befestigt. Fig. 32 zeigt das Profil derselben. Der Bogen ist mit dem Radius von 2 Ruthen beschrieben. Der Untergrund, der aus Sand besteht, ist zunächst mit einer 15 Zoll hohen Lage Klai bedeckt. Hierüber sind zwei Lagen Klinker ausgebreitet, die sich in den Fugen überdecken, und auf diesen ruht das eigentliche Steinpflaster, welches aus Säulen-Backen besteht, die sämtlich gleiche Höhe haben und dicht schliessend an einander gestellt sind. Die Höhe der Steine misst 19 Zoll. Der Fuß dieses Werkes lehnt sich zunächst gegen einen Flechtzaun, und vor demselben befinden sich noch vier andre Zäune, die zugleich zur Befestigung einer Risberme dienen, die mit schweren Steinen bedeckt ist. Auch auf der obern Seite wird die Steinböschung durch eine Lage Faschinen eingeschlossen, worüber der unbefestigte Deich sich fortsetzt.

Storm Buysing*), der diesen Bau beschreibt, sagt nicht, ob der selbe sich gut gehalten habe, indem er jedoch hinzufügt, dafs die Ausführung sehr mühsam und kostbar ist, weil man die gewöhnlichen rohen Steine dazu nicht verwenden darf, so ist wohl anzunehmen, dafs diese Construction nicht besondern Beifall gefunden hat. Er bemerkt dabei, dafs die Anordnung sich nur vor Festungsmauern empfehlen dürfte, die vom Wellenschlage getroffen werden, und welche man in ihrem Fusse sehr sicher decken und mit dem Vorlande verbinden mufs, weil sonst starke und gefährliche Vertiefungen davor entstehn. Er schlägt daher vor, bei Vliessingen diese Deckungsart anzuwenden. Als Deichschutz scheint dieselbe demnach nicht zweckmäfsig gewählt zu sein. Das Ueberschlagen der Wellen kann sie nicht verhindern, weil sie theils nicht die voll

*) Bouwkundige Leercuraus. Breda, 1854. I. Pag. 648.

Deichhöhe erreicht, theils aber auch nicht in die vertikale Richtung übergeht, also das gegenschlagende Wasser, wenn die Richtung seiner Bewegung auch etwas verändert wird, dennoch den obern Theil des Deiches sehr stark trifft.

Bei Deckung des Aufsendeiches ohnfern der Kugel-Baake bei Cuxhaven hat man diese Anordnung insofern geändert, daß die gekrümmte Steindossirung bis zur vollen Uferhöhe hinauf reicht, auch zugleich in die vertikale Richtung übergeht, und hier sollen vergleichungsweise gegen die frühere gleichmässig geneigte Böschung die Beschädigungen im anschließenden Terrain wesentlich vermindert sein.

Ganz im Gegensatze hiermit ist von andern Baumeistern, denen sich auch Woltman anschliesst, empfohlen worden, dem untern Theile der Steinböschung auf den Deichen eine stärkere Neigung, als dem oberen zu geben, also nicht eine concave, sondern eine convexe Cylinderfläche zu wählen. Auch dieses ist oft mit günstigem Erfolge zur Ausführung gekommen.

Die Anwendung des Strauches zur Sicherung der Deiche ist vorzugsweise nur üblich, wenn es sich darum handelt, starke Beschädigungen, die während eines Sturmes entstanden sind, schleunig soweit auszubessern, daß während der nächsten Fluthen ein Durchbruch des Deiches nicht zu besorgen ist. Ausserdem benutzt man aber noch in eigenthümlicher Weise das Strauch, um bei heftigen Stürmen und beim Vorbeitreiben des Eises während des Winters den Rasen auf der äussern Böschung zu schützen. Dieses geschieht mittelst Hürden oder solcher Tafeln aus Flechtwerk, die als leichte Einfriedigung zum Einstellen der Schafe während der Nacht auf den Weideplätzen vielfach benutzt werden. Jede dieser Hürden ist 6 bis 8 Fufs lang, und etwa 2 Fufs breit. Die Stöcke, welche mit dünnen Weidenruthen umflochten sind, liegen in der Längenrichtung der Hürde und sind etwa 2 Zoll von Mitte zu Mitte von einander entfernt. In den Provinzen Zeeland, Gelderland und Overijssel hält man große Vorräthe solcher Hürden in Bereitschaft, und bewahrt sie in eignen Schuppen neben den Deichen auf. Beim Eintritt der stürmischen Witterung, und gewöhnlich in der Mitte des Monats October werden sie auf die Dossirungen gelegt, so daß sie mit der schmalen Seite die Steindecke am Fusse des Deiches berühren, sich daher in ihrer Länge nach der Krone hinaufziehen.

Man legt sie so, daß sie sich etwa 2 Zoll überdecken, und befestigt jede in der Mitte der drei freiliegenden Seiten mit eben so vielen hölzernen Pflocken, die etwas schräge in den Deich eingestochen werden. Der Pflock in der langen Seite greift daher durch 2 Lücken hindurch. Wenn dagegen der Deich den Stürmen sehr ausgesetzt ist, also starke Beschädigungen auch in größerer Höhe sich zu ereignen können, so wird eine zweite Reihe Hürden noch neben der ersten gelegt, die also weiter aufwärts die Dossirung schützt. Man sieht im Spätherbste vielfach auf einige hundert Ruthen Länge solche Deiche in dieser Weise bedeckt, doch geschieht dieses immer nur an solchen Stellen, die einem besonders heftigen Wellenschlage ausgesetzt, auch in anderer Weise gefährdet sind, also namentlich wo die äußern Böschungen steil ansteigen und nicht durch breites und hohes Vorland geschützt werden. Im ersten Frühjahre beseitigt man jedesmal diese Hürden, weil sie alsdann entbehrlich sind, auch der Rasen leiden würde, wenn er noch bedeckt bliebe, während das Gras schon zu wachsen anfängt.

Zuweilen wird auch eine gewöhnliche Strauchdecke über den Rasen zum Schutze desselben ausgebreitet, und namentlich geschieht dieses, wenn die Soden erst im Herbst verlegt werden konnten, also noch nicht gehörig angewachsen und durch neue Wurzeln mit dem Untergrunde verbunden sind. Wollte man indessen das Stroh unmittelbar auf den Rasen legen, so würde es aller Sorgfalt ungeachtet doch keine gleichmäßige und dichte Decke bilden. Es ist vielmehr zu besorgen, daß das aufschlagende Wasser durch einzelne stärkere Zweige zurückgehalten würde, und um so heftiger durch die Oeffnungen, die sich daneben befinden, eindringen, wodurch den Deich noch stärker beschädigen könnte. Man sucht daher eine besondere und besser schließende Unterlage bilden, unmittelbar auf dem Rasen ruht. Hierzu wählt man Haidekraut oder noch häufiger Stroh.

In den Niederlanden werden solche Deckungen häufig sehr häufig ausgeführt. Zunächst breitet man das feine Material in einer dünnen Lage aus, die den Rasen vollständig überdeckt. Hiernach folgt eine Lage Rohr, die etwa 2 Zoll stark ist, und in welcher die Halme parallel zum Deiche gerichtet sind. Sollte die Böschung steil sein, daß das Rohr nicht sicher liegt, und auf dem Stroh abgleitet, was besonders bei heftigem Landwinde zu besorgen

befestigt man es vorläufig durch leicht eingestofsne hölzerne Plättchen, die später wieder entfernt werden. Die dauernde Haltung wird dem Rohre durch die Strauchdecke gegeben. Diese erhält eine Stärke von 5 Zoll, und die sämtlichen Reiser in ihr sind normal zum Ufer gerichtet. Man beginnt die Bespreitung am obern Ende der Stroh- und Rohrdecke und legt die ersten Reiser so, daß sie mit ihren Stammenden noch etwa einen Fuß weit über die Unterlage vorragen. Auch die zweite Reihe Strauch wird noch mit ihren Stammenden nach oben gekehrt, bei der dritten wechselt man um, und bei dieser, wie bei allen folgenden liegen die Stammenden abwärts. Die einzelnen Reihen greifen jedesmal etwa 1 Fuß mit übereinander, nur oben und unten wählt man etwas geringere Lücken, damit die Dicke der ganzen Lage etwas gleichmäßiger wird. Zur Befestigung des Strauches dienen endlich Zäune von etwa 6 Zoll Höhe, die wieder nach der Länge des Deiches gezogen werden. Diese bestehn, wie in Holland üblich, aus sehr sorgfältig ausgearbeitetem Flechtwerke. Oft ist jeder vierte Zaunpfahl am Kopfe mit einem Vorstecknagel versehen, und wird, nachdem er beflochten ist, scharf angetrieben, so daß die Nägel auf die Flechtruthen und wieder auf das Strauch drücken. Die Spannung, in welche die gesamte Decke versetzt wird, pflegt aber nicht lange zu halten, und namentlich wenn die Wellen längere Zeit durch aufgeschlagen sind, so geben die einzelnen Halme und Reiser etwas nach oder lagern sich etwas dichter in einander. Man schiebt dann die Zaunpfähle von Neuem nachtreiben, wodurch die Decke für den ganzen Winter hinreichend gesichert zu sein pflegt. Die Zäune stehn sehr nahe neben einander, und um so näher, je größer die Dossirung, oder je mehr diese in anderer Beziehung getrieben ist. In manchen Fällen bleibt zwischen den Zäunen fast kein freier Raum, gemeinhin sind sie jedoch 9 bis 13 Zoll voneinander entfernt. Unter besonders ungünstigen Umständen packt man wohl Steine zwischen die Zäune, oder wie noch häufiger geschieht, man in Abständen von 2 bis 3 Fuß starke Stangen quer über sämtliche Zäune, und befestigt diese dadurch, daß in geringen Entfernungen von der einen und der andern Seite Pfähle schräg in den Deich eingetrieben werden. Diese verhindern ein Aufheben der Stangen und sonach der ganzen Bedeckung.

Eine andre eigenthümliche Methode zum zeitweisen Schutze des

Deiches wurde vor 40 Jahren im Oldenburgischen versucht und den ersten Erfahrungen auch vortheilhaft befunden. Man hatte nämlich bemerkt, daß die Beschädigungen der Deiche immer in bestimmten Höhe, nämlich wenig über der gewöhnlichen Fluth ihren Anfang nahmen, und sich von hier aus weiter verbreiteten. Hiernach lag die Idee sehr nahe, auf diese Stelle die möglichste Sorgfalt zu verwenden und einen recht kräftigen Schutz hier darzustellen. Den ersten Versuch in dieser Beziehung machte man am Kade-Deiche, in dessen Schutz der neue Hauptdeich vor Wapeler Groden ausgeführt wurde. Dieser Deich war sehr drossirt, und da er nur während eines Sommers erhalten werden durfte, mit keiner Rasenbekleidung versehen. Nachdem er wiederholt starke Beschädigungen erlitten hatte, so versah man in der bezeichneten Höhe mit einer einzelnen Reihe Rasen, seitdem dieses geschah, hörten die Beschädigungen auf. Durch diesen Erfolg ermuthigt, ließ Burmester, der damals dem Waterbau im Oldenburgischen vorstand, auch diejenigen Hauptdeiche der Jade, die besonders starken Angriffen ausgesetzt waren, nicht in ihrer ganzen Dossirung, sondern nur in der bezeichneten Höhe mit einem kräftigen Schutze versehen. Es wurden der Länge nach zwei Gänge Dielen ausgelegt, die zwischen sich einen Raum etwa 6 Zoll Breite frei ließen. Quer über dieselben breitete man einen Strauch aus, und auf diesen legte man einen dritten Gang, der parallel zu den untern den Zwischenraum derselben überdeckte. Der letzte Gang war an beiden Enden jeder Diele und außerdem in Abständen von etwa 10 Fuß, mit Löchern von 5 bis 6 Zoll Durchmesser versehen. Durch diese Löcher wurden kleine eichene Pfähle durchgetrieben, die nahe unter ihren Köpfen durchlocht und zwischen starken hölzernen Pflöcken versehen waren. Letztere drückten gegen die Dielen des obern Ganges und verhinderten sonach das Aufschwimmen der ganzen Packung, während die Pfähle selbst verschoben wo nicht verhinderten, doch sehr erschwerten. Diese Deckungsart zeigte sich Anfangs als sehr erfolgreich, nichts desto weniger ist man, durch spätere Erfahrungen belehrt, davon wieder abgegangen.

Zum Schutze derjenigen Deiche, die nicht nur das Vorwandern auch die äußere Dossirung verloren haben, wendete man sich auf der westlichen Seite des Süder-Sees vielfach hohe Pac-

Gras an, die bei ihrer grossen Breite eine Art von Futterildeten, gegen welche sich die Erde des Deiches ohne alleig lehnte. Diese Packung war auf der äussern Seite eben g, wie auf der innern mit einer Böschung versehen, bei ihren Zusammenhänge und ihrer grossen Elasticität widerie aber ohne merkliche Beschädigung selbst dem heftigsten schlage, und wenn der Sturm auch grosse Massen des frisch rachten Grasses forttrieb und zum Theil sehr weit in das rehte, so war die Ergänzung desselben doch mit so wenig Kond Mühe verbunden, dass die Unterhaltung dieser eigenthüm-

Deiche vergleichungsweise gegen andre Arten des Deiches sich keineswegs als kostbar herausstellte. Diese Deiche den bereits seit Jahrhunderten, doch erforderten sie fortwäh-

Aufmerksamkeit und boten nicht diejenige Sicherheit, welche niedrige Lage Nordhollands dringend forderte, woher man sie rarer Zeit nach und nach beseitigt, und dafür gehörig profil-Erdeiche mit Steindecken vor dem Fusse eingeführt hat.

Das Gras, das hierbei benutzt wurde, wächst unter Wasser auf lückbänken, die bei der Ebbe nicht trocken werden, jedoch auch tief darunter liegen. Namentlich findet es sich neben der el Wieringen in grossen Massen, indem es, wie eine dichtbewach-e Wiese ausgedehnte Flächen überzieht. In der Umgegend nennt man es Wier-Gras, es ist der Wasserriemen (*Zostera marina*). Im Juni wird dieses Gras gemäht, und in Böten ans Ufer genommen. später löst sich der Stengel aber von selbst von der Wur-l, oder wie die Anwohner meinen, wird er von Wasservögeln gebissen. Das Gras treibt alsdann bei Fluth und Ebbe in einer d der andern Richtung in grosser Menge vor dem Ufer vorbei. es aufzufangen, wendet man ein sehr einfaches Mittel an, man festigt nämlich gewöhnliche Leitern in der Art vor dem Ufer, dass re Sprossen senkrecht stehn, und indem sie auf dem Wasser schwimmen, werden ihre äusseren Enden durch zwei Leinen gehalten. so dass sie weder bei der einen Strömung, noch bei der andern aus der normalen Richtung gegen das Ufer entfernt werden können. Diese Leitern fangen das vorbeitreibende Gras auf und rar in solcher Masse, dass oft in einer Fluth oder Ebbe ein ganzes Fuder an eine Leiter lehnt. Ehe die Strömung aufhört und gesetzt, wird mittelst langer Rechen der Fang auf das Ufer ge-

zogen, und bald darauf auf die Deiche gebracht. Man muß es ab in kurzer Zeit verwenden, weil es in dem nassen Zustande besser lagert, als wenn es vorher ausgetrocknet wäre.

Durchschnittlich wird in jedem Jahre eine Schüttung von 1 Fuß bis 2 Fuß Stärke auf den Deich gebracht, ein kleiner Theil davon fliegt zwar fort, oder wird auch vom Wasser weggespült, das meiste bleibt aber liegen. Man darf jedoch nicht voraussetzen, daß diese sehr bedeutenden jährlichen Aufschüttung der Deich fortwährend höher wird, die neue Lage wird vielmehr, wenn sie durch die überdeckt, und vollständig ausgetrocknet ist, überaus dünn, und die einzelnen Blättchen sind alsdann viel dünner als das feinste Briefpapier. Sie bleichen dabei vollständig aus, und wenn man in starkem Winde in der Nähe eines solchen Deiches sich befindet, sieht man die feinen Stückchen wie Schneeflocken umherfliegen. An der Seeseite treten alle Lagen hervor, sie sind unregelmäßig abgebrochen, und jede einzelne hat fast das Ansehn, als wenn ein Stück Pappe durchrissen wäre. Nur selten sieht man aber eine Lage, die mehr, als einen halben Zoll dick geblieben wäre.

Fig. 31 *a* und *b* zeigt einen Wierdeich in der Nähe von Mendenblick. Die Grasschüttung oder der Wierriemen ist etwa 10 Fuß breit, und erhebt sich einige Fuß hoch über die Krone des Erddeiches. Dieses ist in sofern nothwendig, als der obere Theil gar keine Consistenz hat. Am Fusse ist er jedesmal durch eine Steinschüttung geschützt, die auf einer Faschinenpackung ruht, und die eigentliche Uferdeckung bildet. Dazwischen sieht man gemeinlich eine große Anzahl abgebrochener Pfahlköpfe, und einzelne Pfähle werden in Abständen von 8 bis 12 Fuß vor dem Deich immer unterhalten, damit der Riemen auf der Seeseite einigermaßen eine Stütze hat, und die Aufschüttungen regelmäßig erfolgen können. An manchen Deichen dieser Art fehlt indessen diese Pfahlreihe, und die Wand steht ganz frei. Die Erdschüttung muß sich jedenfalls scharf dagegen lehnen, und damit nicht etwa das Wasser in die Fuge zwischen beiden sich einziehn und eine Trennung veranlassen kann, so pflegt man dem nächsten Theile der Krone eine starke Neigung zu geben, wodurch das Wasser landwärts geleitet wird. Endlich ist noch zu erwähnen, daß bei diesen Deichen die Erdschüttungen jedesmal ungewöhnlich breite Kronen haben.

dadurch unberührt der fehlenden äußern Dossirungen doch solche Profile sich bilden.

Zuweilen werden Deiche, denen das Vorland ganz fehlt, vor dem Fusse ihrer äußeren Böschungen durch dichte Holzwände geschützt, die alsdann auch zugleich zur Uferbefestigung dienen. Bei Wellenbewegung hinter ihnen ist, selbst wenn sie bei hohen Wasserständen ganz unter Wasser stehn, doch sehr gemässigt, woher auf diese Weise starken Beschädigungen des Deiches sicher vorgebeugt wird. Es soll auch nicht leicht vorkommen, daß diese Wände, wenn sie nur einigermaßen noch haltbar sind, ganz oder theilweise vom Wellenschlage zerstört werden. Vorzugsweise hängt ihre Dauer davon ab, ob der Seewurm an den Ufern, wo man sie erbaut, sich vorfindet oder nicht. Im ersten Falle muß man von der Anwendung des Holzes ganz Abstand nehmen, oder dasselbe nur unter dem gewöhnlichen niedrigen Wasser, also zur Befestigung von Steinabstättungen benutzen.

Demnächst leiden diese Wände auch vom Eise, und namentlich, wenn solches noch in größern Schollen vorbeitreibt und vom Winde dagegen gedrängt und zugleich durch die Wellen auf- und abbewegt wird. Endlich übt die abwechselnde Benetzung und Austrocknung ebenfalls ihre zerstörende Wirkung auf sie aus, doch ist diese keineswegs so groß, wie bei gewöhnlichen Bohlwerken, weil die Fäulnis nicht durch die Berührung mit vegetabilischen Stoffen befördert wird, auch die abwechselnde Benetzung durch Seewasser viel weniger nachtheilig ist. In Gegenden, wo der Seewurm sich gar nicht oder doch nur selten vorfindet, nimmt man in den Niederlanden eine dreißigjährige Dauer für diese Wände an, und wenn sie der Einwirkung des Eises entzogen sind, sogar eine funfzigjährige. Auf der Insel Wieringen findet man aber Wände, die bereits 60 Jahre alt sind, und noch für hinreichend haltbar erachtet werden.

Fig. 33 zeigt einen solchen Bau, der vor den am meisten bedrohten Stellen der Deiche auf der westlichen Küste der Provinz Friesland ausgeführt ist. Vor der Holzwand liegt eine sehr solide Erdebedeckung, die nahe 5 Fuß über das gewöhnliche Hochwasser ansteigt, und die Wand selbst erhebt sich 12 Fuß über letzteres. Auf der hintern Seite lehnt sie sich zunächst an eine niedrigere Wand an, die eben so, wie sie selbst, aus starken Bohlen besteht. Indem

beide aber gegenseitig ihre Fugen überdecken, so bilden sie zusammen eine Stülpwand, wie solche bei uns vielfach bei Fundamenten statt der Spundwände benutzt werden. Sowol die vordere, als hintere Bohlenreihe wird durch eine starke Zange unterstützt, an jeden einzelnen Bohlenkopf genagelt ist.

Auf der innern Seite, und zwar im Abstände von 2 Fuß findet sich eine andre ähnliche, jedoch nur einfache Wand, und Zwischenraum zwischen beiden ist mit Ziegelstücken gefüllt mit großen Steinen überdeckt.

Die Figuren 34 und 35 zeigen die zum Schutze der Deiche der Insel Schokland im Süder-See dienenden Ufereinfassungen der Ostseite und überhaupt an denjenigen Ufern, wo der Wellenschlag mässi-ger ist, hat man die einfachere Construction Fig. 34 gewählt, auf der westlichen Seite dagegen, die einem viel stärkeren Angriff ausgesetzt ist, die in Fig. 35 dargestellte. Die dicke Wand wird bei beiden in Abständen von etwas über 6 Fuß durch Anker gestützt, die jedesmal an zwei oder drei Ankerpfähle gestützt sind, und deren Köpfe sowol auf die Zange hinter der Pfahlwand eingekämmt und durch Bolzen daran befestigt werden, als sie mit schwalbenschwanz-förmiger Verkämmung zwischen die Köpfe greifen. Die Hinterfüllung besteht aus Ziegeln, die auf einer Unterlage von Strauch ruhen und mit grössern Feldsteinen bedeckt sind. Ausserdem ist bei der Fig. 35 dargestellten Construction die Steinschüttung auch noch auf der innern Seite durch eine Holzwand eingeschlossen. In beiden Fällen vertreten diese Wände zugleich die Stelle der Uferdeckung, und man hat ihre Existenz nicht gesichert, weil die Schifffahrt eine bedeutende Tiefe fordert. Nicht nur der Verkehr mit der Insel veranlasst ein hohes Anlegen der Schiffe an diese Ufer, sondern dieses geschieht vielfach, wenn ein starker Sturm eintritt, und die auf der Südküste befindlichen Fahrzeuge wegen der Untiefen, welche die Fahrt beengen, verhindert werden unter Segel zu bleiben. Sie verbleiben also dann, wenn es irgend geschehn kann, nach der Insel Schokland gesteuert und ankern entweder in deren Schutz, oder wenn ihr Weg nicht groß ist, so legen sie auf der Leeseite auch unmittelbar an das Ufer an.

Diese Holzwände auf Schokland werden in neuerer Zeit so fern bedroht, als der Seewurm sich jetzt darin viel häufiger

zeigt. Nichts desto weniger wird die Gefahr noch nicht für
sehr groß erachtet, um von dieser Construction abzugehn.
Es ist nur die Aenderung eingeführt, daß man statt des Kiefern-
gegenwärtig meist Eichenholz benutzt.

Bisher war nur von den Schutzmitteln die Rede, die man an-
wendet, um Beschädigungen der Deiche zu verhindern. Sind solche
eingetreten, so ist die Art ihrer Wiederherstellung we-
sentlich verschieden, je nachdem die Arbeit mit Muße und voll-
ständig vorgenommen werden kann, oder vielleicht bei der nächsten
Fluth schon eine augenscheinliche Gefahr eintritt, wenn die weitere
Abwehrung der Zerstörung nicht verhindert wird. In Betreff des
Falles ist wenig zu erinnern, da die Methoden der Wieder-
herstellung mit denen des Neubaus sehr nahe übereinstimmen.
Man wäre nur darauf aufmerksam zu machen, daß die Erhal-
tung des Rasens auf den Dossirungen eine besondere Vorsicht
erfordert. Es ist freilich nicht zu vermeiden, daß man auch klei-
ne Stellen mit neuem Rasen belegen muß, wenn derselbe voll-
ständig abgestoßen ist, indem jedoch dabei eine innige Verbindung
nach Jahren eintritt, so muß man bei Reparaturen den gut
gewachsenen Rasen möglichst schonen. Hieher gehört namentlich
der Fall, daß an einzelnen Stellen in der Dossirung Versackungen
erscheinen. Dieselben erscheinen Anfangs wenig erheblich und so-
wohl ohne alle Bedeutung, aber wenn sie auch nur geringe sind, so
brechen sie doch die Gleichmäßigkeit und veranlassen, daß
Wellenschlag auf einzelne kleine Flächen einen verstärkten
Eindruck ausübt. Der obere Theil einer solchen eingesunkenen Stelle
nimmt eine steilere Neigung an, als er früher hatte, und hierdurch
nicht nur die Vegetation daselbst erschwert, sondern gerade
erfolgt auch beim Auflaufen der Wellen ein heftigerer Stoß.
Diese Umstände wirken auf die Vergrößerung der Unregelmäßig-
keiten hin, und nach einigen Jahren ist der Rasen, wenn auch keine
große Zufälligkeiten den Schaden weiter ausgedehnt haben, doch
mangelhaft, daß man ihn vollständig erneuen und die entstan-
dene Vertiefung, ehe man neue Soden darüber legt, mit Erde an-
füllen muß. Dieses läßt sich vermeiden, wenn man gleich Anfangs
die Beseitigung der noch geringen Versackung hinwirkt. So-
bald diese nämlich nur noch wenige Zolle tief ist, so bringt man
im ersten Frühjahre oder im Anfange des Sommers, also in Zeiten,

wenn das Gras stark treibt, dünne Lagen recht fruchtbarer Erde auf, die jedoch nicht zu fest angestampft sein müssen. Durch das Wachsen der Rasen hindurch, und indem die Pflanzen im frischen Boden Wurzeln schlagen, so erhöht sich der Rasen. Wenn aber die Vertiefung hierdurch noch nicht ausgefüllt sein sollte, so wird dasselbe Verfahren bei nächster Gelegenheit wiederholt, bis die Dossirung vollkommen regelmässig wieder hergestellt ist. Auf diese Art umgeht man das Umlegen des Rasens, und wenn vielleicht bei einem Sturme die frisch angeschüttete Erde auch fortgespült werden sollte, so ist dieser Schaden nicht von Bedeutung und mit keiner Gefahr verbunden. In Holland ist ein solches Verfahren nicht ungewöhnlich, dadurch ist es aber allein möglich, die Regelmässigkeit der Dossirungen zu erhalten, die vergleichungsweise mit andern Deichen oft überraschend gross ist, und zu ihrem Schutze wesentlich beiträgt.

Wenn dagegen starke Sackungen eingetreten sind, und entweder der Rasen sich schon löst und abstirbt, oder die Deichkrone erhöht werden muss, alsdann wird man sich dazu entschliessen, den Deich abzuschälen und mit Erde zu beschütten. Es darf kaum erwähnt werden, dass man auf die innige Verbindung der neuen Erde mit der alten möglichst sehn, und zu diesem Zwecke die Dossirungen nicht nur auflockern, sondern selbst abtreppen muss. Andererseits ist es aber auch nothwendig, die Aufschüttung so weit abwärts fortzusetzen, dass eine hinreichend flache Böschung entsteht. Bis zum Fusse der äussern Böschung geht man selten herab, um nicht die ganze Grasnarbe erneuern zu dürfen, wenn aber eine ansehnliche Erhöhung der Krone nothwendig ist, so ist es oft vortheilhafter, die äussere Böschung ganz unberührt zu lassen und die der Erhöhung entsprechende Verstärkung nur an der innern Seite anzubringen.

Ist der Rasen stark beschädigt, und seine baldige Wiederherstellung nothwendig, so kann das Belegen mit neuen Soden nur vorgenommen werden, wenn die Jahreszeit hierzu günstig ist. Andernfalls muss man durch gewisse vorläufige Schutzmittel den Deich gegen weitere Zerstörung sichern. Vorzugsweise eignet sich hierzu die Stroh-Bestückung, doch erfordert dieselbe, wenn grosse Stellen zu decken sind, mehr Zeit, als bis zum Eintritt der nächsten Fluth geboten ist. Auch bemerkt man vielleicht erst bei

den Wasser die eingetretene Beschädigung, und sonach ge-
die kurze Zwischenzeit noch nicht, um das Material herbeizu-
sen. In diesem Falle ist das Ueberspannen von Segeln
anders üblich. An den Deichen in Friesland und Overijssel hält
zu diesem Zwecke stets Segel in Bereitschaft, die über die
den Stellen gelegt, mit Pflöcken befestigt und am untern Ende
mit angebundene Steine gehalten werden. Man kann hiervon je-
doch nur Gebrauch machen, wenn es sich um die Sicherung des
beschädigten Rasens handelt. War der Deich schon früher zur
Morge mit Strauch bedeckt, das theilweise fortgerissen ist, so legt
das Segel nicht so dicht schliessend an, daß es das fernere Aus-
wachsen der Erde verhindern könnte, auch wird es vom Strauch und
den Zaunpfählen in Kurzem so zerrissen, daß es keinen Schutz
bewährt.

In diesem Falle, oder wenn die Segel nicht schnell genug zu
erschaffen sind, werden die Einrisse gemeinhin mit Strauch aus-
gedeckt. Dieses muß auch geschehn, wenn tiefe Löcher sich bereits
gebildet haben. Das Verfahren dabei stimmt, soweit die kurze Zwi-
schenzeit dieses gestattet, mit dem vorhin beschriebenen überein.
Es kommt hierbei zwar nicht mehr auf die Schonung des Rasens
an, weil derselbe bereits fortgeschlagen ist, aber um einigermaassen
die Regelmässigkeit der Böschung wieder herzustellen, werden die
ersten Einrisse zunächst mit Erde gefüllt, und solche bedarf einer
stärkeren Decke, als durch blosses Strauch dargestellt werden kann.
Die Unterlage von Stroh oder Rohr ist daher auch in diesem Falle
unentbehrlich. Man beginnt die Ausführung der Decke immer in
der grössten Tiefe, weil der höher belegene Theil noch während der
Arbeit gemacht werden kann. Die ganze Arbeit, wenn auch we-
sentlich dieselbe, fällt indessen viel roher und unregelmässiger aus,
weil es an der nöthigen Zeit gebricht. Aus demselben Grunde kann
man auch bei der ersten Instandsetzung nur wenige Zäune befelech-
ten, die jedoch während des nächsten kleinen Wassers vervollstän-
digt werden müssen.

Ist eine Kappstürzung eingetreten, also stellenweise ein
Theil der Krone versunken, so läßt sich die Dossirung in der kur-
zen Zwischenzeit bis zum nächsten Hochwasser nicht wieder her-
stellen, aber dringend nöthig ist es, die Krone vor dem gänzlichen
Durchbruche zu sichern. Dieses geschieht, indem sogleich eine

Pfahlreihe in der Richtung der äussern Kante der Krone durch den Bruch hindurchgerammt wird. Man verkleidet dieselbe, sobald das Wasser fällt, auf der innern Seite mit Bohlen, und stellt überhaupt ein gewöhnliches Bohlwerk her, das mit Ankern versehen wird, die an Pfähle auf der innern Dossirung gebolzt sind. Gegen das Bohlwerk, das bei der Ausführung wenig dicht zu sein pflegt, packt man lieber Stroh und Mist und selbst Faschinen, als lose Erde, doch macht man eine starke Lage der letztern aufbringen, um die ganze Masse gehörig zu comprimiren. Ausserdem ist es noch nothwendig, den Fuß des Bohlwerkes auf der äussern Seite durch eine Risberme oder durch Packwerk zu schützen.

Bemerkt man, daß am Fusse des Deiches eine große Vertiefung eingetreten ist, so genügt die Zwischenzeit gemeinhin nicht, um durch eine Bohlwand die Dossirung zu sichern, auch läßt sich eine solche nicht dichten, da der tiefe Kolk selbst bei der Ebbe mit Wasser gefüllt bleibt. In diesem Falle ist die Ausführung von Packwerken oder Senkstücken das Einzige, was man thun kann.

Wenn endlich die Gefahr so groß ist, daß die Erhaltung des Deiches nicht mit Sicherheit erwartet werden kann, so bemüht man sich nur, die Ausdehnung der bevorstehenden Ueberschwemmung möglichst zu beschränken. In vielen Fällen liegen hinter den Hauptdeichen noch ältere, oder sogenannte Schlafdeiche, die man zu diesem Zwecke zu erhalten pflegt. Wenn man auch auf ihre Instandhaltung wenig Sorge verwendet, so pflegt man sie doch nicht abzutragen. Sobald aber der Hauptdeich zu durchbrechen droht, so werden sie schleunigst durch Ausfüllung der Durchfahrten und Gräben, und wo es nöthig ist, noch durch Aufkadung so erhöht, daß sie das Wasser abhalten können. Dieses gelingt auch meist, in sofern sie wegen des weiten Vorlandes vor dem Wellenschlage geschützt sind, und nur ruhiges Wasser vor ihnen steht.

§. 17.

Schließung der Deichbrüche.

Wenn ein Seedeich gebrochen ist, so füllt sich nicht nur der dahinter liegende Polder bis zu derjenigen Höhe mit Wasser an, so

Der die Fluth auf der Außenseite ansteigt, sondern nachdem die letztere aufgehört, und die Ebbe begonnen hat, so strömt das eingetretene Wasser wieder aus, und in der nächsten Fluth und Ebbe erfolgt aufs Neue dasselbe Aus- und Einströmen. Wie sehr das früher eingedeichte Land, namentlich in der Nähe des Bruches hierdurch verwüstet und zugleich der tiefe Einriß im Boden, den die Strömung verfolgt, oder der Kolk vergrößert und vertieft wird, leuchtet von selbst ein. Die Zerstörungen wiederholen sich nicht nur fortwährend, sondern die jedesmaligen Beschädigungen werden in demselben Maasse größer, wie tiefere und weitere Schläuche sich ausgebildet haben, in denen das Wasser mit größerer Leichtigkeit hin und her fließen kann. Es ist daher dringend geboten, den Deich möglichst bald wieder herzustellen, oder den Bruch zu schließen. Die Schwierigkeiten, denen man dabei begegnet, sind aber ohne Vergleich viel größer, als bei Deichbrüchen an oberländischen Strömen. Neben diesen werden die Polder, wenn sie sich nicht etwa in großer Länge zur Seite der Flüsse hinziehen, und also einer anhaltenden Durchströmung ausgesetzt sind, nur einmal mit Wasser gefüllt, das freilich zurückfließt, sobald der äußere Wasserstand sich senkt, man hat aber alsdann bis zu dem zu erwartenden nächsten Hochwasser während des Sommers und Herbstes hinreichend Zeit, den Deich vollständig wieder herzustellen. Bei Seedeichen beschränkt sich dagegen die Zwischenzeit auf wenige Stunden, und oft wird die Durchströmung des Bruches gar nicht unterbrochen, indem der hart eingehende Strom plötzlich in einen eben so heftigen ausgehenden umsetzt, und diese Bewegungen dauern auch während der ganzen Zeit fort, in welcher der Deich geschlossen wird. Es ergibt sich hieraus, daß man zu ganz andern Mitteln greifen muß, als wenn es sich nur um die Wiederherstellung eines oberländischen Deiches handelt. Glücklicher Weise sind an der Deutschen Nordsee-Küste die Deiche meist so günstig situirt, daß Brüche in denselben nur selten vorkommen, nichts desto weniger darf dieser Fall hier doch nicht mit Stillschweigen übergangen werden. In den Niederlanden, wo solche Unglücksfälle sich viel häufiger wiederholen, hat man über die Erfolge der verschiedenen Methoden, die alsdann zur Anwendung kommen, vielfache Erfahrungen gesammelt, und es erscheint daher angemessen, diese mitzutheilen.

Nach einem erfolgten Durchbruche kommt zunächst die Wahl

der Deichlinie oder die Frage in Betracht, ob der außerhalb oder innerhalb des Kolkes ausgeführt, oder viel den letzteren hindurch geschüttet werden soll. Geht man auf der äussern Seite herum, so ist eine Aufschlickung des Kolkes möglich, derselbe behält also beständig seine Tiefe und bleibt leer gefüllt. Wenn man ihn nicht etwa später zuschütten will, Fläche, die er einnimmt, für immer der Benutzung entziehen, dieser Beziehung ist es vortheilhafter, den Deich auf der äussern Seite um den Kolk zu legen. Ein tiefer Kolk an der Binnenseite fördert in hohem Grade das Durchquellen des Wassers, und eine grosse Tiefe an der äussern Seite den Wellenschlag und die zerstörenden Wirkungen verstärkt. Eine ganz besondere Aufmerksamkeit ist aber noch in andrer Beziehung auf den Wellenschlag zu richten. Vortretende Deichecken sind solchem vorzugsweise ausgesetzt und aus diesem Grunde oft kaum zu erhalten, wogegen abgewinkelte Ecken bei gegenstehenden Winden eben so nachtheilig sind, weil die Wellen, wenn sie zwischen den beiderseitigen Deichen in eine trichterförmig verengte Bucht einlaufen, sehr bald in der Höhe zunehmen, und daher theils eine entsprechende Verstärkung dieses neuen Deiches erfordern, theils auch eine grössere Verstärkung dieses neuen Deiches nöthig machen. Aus diesen Gründen geschieht es bei uns viel häufiger, als im Binnenlande, dass man die frühere Deichlinie behält und durch den tiefen Kolk hindurchgeht. Nur wenn Verhältnisse besonders günstig sind, und ein hohes Vorland den Deich vor dem Strome Schutz gewährt, führt man den neuen Deich auf der äussern Seite des Kolkes herum, und wenn letzterer verlandet ist, so führt man die frühere günstigere Linie wieder her. Auch sonst kann man sich zuweilen wegen der geringeren Kosten oder um den Deich des Deiches möglichst bald darzustellen, zu einem der beiden Auswege und legt den neuen Deich vor oder hinter den alten.

Wenn der Durchbruch nicht sowol durch Wellenzerstörung der äussern Dossirung, als vielmehr durch Durchbruchung oder durch Quellungen veranlasst ist, so geschieht es, dass der äussere Fuss des Deiches noch erhalten bleibt, der vortretende Rand desselben nur wenig unter dem gewöhnlichen Hochwasser liegt. In diesem Falle ist die Wiederherstellung schwierig und man pflegt alsdann sogleich auf diesen Rand durch Aufkarren von Erde einen kleinen Kad-

dessen Krone bis über die gewöhnlichen Springfluthen ist. Derselbe wird nur schwach profilirt, da er nur kurz wirksamkeit bleiben soll, man bedeckt ihn auch nicht mit andern sichert ihn nur auswärts durch Strauch, unter dem, was erwähnt, eine Lage Stroh oder dergleichen ausgebreitet. Nutze desselben kann nunmehr sogleich die Erdanschüttung welche den spätern Deich bilden soll, der in solchem nahe die Richtung des älteren wieder einnimmt.

Da die Beschaffung der hierzu erforderlichen Erde oft grosse Kosten macht, so ist es in vielen Fällen vortheilhaft, statt grossen Versetzungen versehenen kleinen Erddeiche schwache Fanzu zu erbauen. Leichte Pfähle werden etwa in 3 Fuss Abstände einander eingestossen, an den äussern Seiten mit Gurtungen und diese durch aufgekämmte Zangen gegenseitig verbunden das Ausweichen zu verhindern. An den innern Seiten werden dann Bohlen gegen die Pfähle gelehnt und der Zwischenraum am besten mit guter Thonerde, oder wenn solche nicht vorhanden ist, mit Mist oder andern feinen und schweren Stoffen

demselben Mittel kann man auch anwenden, wenn ein hoher Deich noch vor dem Durchbruche liegt, in welchem sich keine Rinne gebildet hat, die bei Fluth und Ebbe einen starken Einbruch nimmt. Man hat alsdann während des niedrigen Wassers lange Zeit, um einen grossen Theil des Abschlusses darzustellen und das jedesmalige Ende desselben hinreichend zu sichern. Aber vielleicht auch tiefere Einrisse vorkommen, die jedoch zusammenhängende Rinne darstellen, also nicht stark durchbrochen werden, so lassen sich solche mittelst der beschriebenen Methode ebenfalls durchbauen, wenn diese statt der Bohlen mit Stülpwänden versehen werden und ihre Breite der Grösse entspricht.

Das Verfahren ist jedoch nur von Erfolg, wenn in der Deichstrecke oder im Vorlande ein so hoher Rücken liegt, dass die Fluthung erst gegen das Ende der Fluth beginnt und alsdann eine besondere Stärke annimmt, vielmehr nur in einem sanften und Ausfliessen des Wassers besteht. Wenn dagegen der Deich sehr niedrig, oder nur von geringer Breite, oder vielleicht nicht vorhanden war, so pflegt der Deich beim Durch-

brüche vollständig zerstört zu werden, indem alsdann eine tiefe Rinne von der Seeseite aus bis zum Binnenlande sich bildet. In dieser tritt bei jeder Fluth und Ebbe eine sehr heftige Strömung ein, welche die Erde, die man etwa zur Darstellung des erwähnten kleinen Deiches hineinschütten wollte, sogleich mit sich reißen würde. Auch jene Fangedämme haben darin keinen Bestand, wenn man solche noch ausführen könnte. Man muß alsdann zunächst sich bemühen, die starke Strömung, die abwechselnd in der einen und der andern Richtung eintritt, zu mäßigen. Dieses geschieht in verschiedener Weise.

Zuweilen genügt hierzu eine Zurücklegung des neuen Deiches, der jedoch alsdann soweit von dem Bruche sich entfernen muß, bis man eine Stelle erreicht, wo das einstürzende Wasser bereits seine Geschwindigkeit verloren hat. Andererseits schwächt man den Strom in dem Bruche auch dadurch, daß man den letzteren künstlich noch erweitert oder die Enden des Deiches abgräbt und hierdurch ein weiteres Durchfluß-Profil bildet. So lange die Oeffnung nämlich sehr klein bleibt, so tritt das ungünstige Verhältniß ein, daß gar keine Ausgleichung zwischen dem innern und äußern Wasserstande erfolgt, also die Strömung niemals sich schwächt oder einige Zeit hindurch ganz aufhört. Während das Wasser auf der Seeseite seine größte Höhe erreicht, ist es im Binnenlande noch bedeutend niedriger, die Einströmung dauert also im Anfange der Ebbe noch fort, und beide Wasserstände kommen erst später in dasselbe Niveau, also zu einer Zeit, wo das äußere Wasser schon sehr stark abfällt, wie sich dieses aus der Form der Fluthwellen ergibt. Die Folge hiervon ist, daß nur ein momentaner Stillstand eintritt, und die noch kräftige Einströmung plötzlich in eine sehr starke Ausströmung umsetzt. Auch beim niedrigen Wasser geschieht dasselbe. Der Polder ist noch stark angefüllt, wenn die Ebbe aufhört, er entleert sich daher noch während der ersten Zeit der Fluth, und nur wenn letztere schon sehr stark ansteigt, hört die Ausströmung auf und geht unmittelbar in die Einströmung über. Diese Uebelstände lassen sich vermeiden und man kann sowol beim Hochwasser, als beim Niedrigwasser für kurze Zeit den Strom unterbrechen und mäßigen, wenn man die Verbindungs-Oeffnung so weit macht, daß das Binnenwasser übereinstimmend mit dem äußern steigt und sinkt. Man sieht sich zu diesem eigenthümlichen Verfahren zuweilen schon da-

sch gezwungen, daß man bei dem ununterbrochenen heftigenrome gar nicht im Stande ist, die nöthigen Tiefenmessungen vornehmen, und sonach die Ausdehnung der Zerstörung, die beseigt werden soll, gar nicht ermittelt werden kann.

Endlich giebt es noch ein drittes, gewiß sehr sicheres aber auch sehr kostbares und zeitraubendes Verfahren, um die Strömung in dem Bruche, den man durchbauen will, zu mäßigen. Dieses besteht darin, daß man den Polder durch schwache Zwischendeiche nach und nach verkleinert. In demselben Maasse, wie die der Inundation ausgesetzte Fläche eine geringere Ausdehnung annimmt, vermindert sich auch die zu ihrer Anfüllung erforderliche Wassermenge. Die Abschlusdeiche, die man zu diesem Zwecke erbaut, und für welche man ein möglichst günstiges Terrain aussucht, bleiben im Binnenlande und sind daher einem starken Angriffe der Wellen nicht ausgesetzt. Aus diesem Grunde brauchen sie nur leicht zu sein, auch genügt es, sie etwas über die gewöhnlichen Springfluthen zu legen, bevor Eintritt des Winters der Bruch im Hauptdeiche doch jedenfalls geschlossen werden muß. Die sehr große Länge, die sie erhalten müssen, um die entsprechenden Theile des Polders nach und nach abzuschliessen, macht ihre Ausführung sehr mühsam und kostbar. Als im Jahre 1729 ein Deich neben dem Dorkumer-Diep, das in den Lauwer See ausmündet, gebrochen war, konnte der Bruch nicht früher geschlossen werden, als bis man den inundirten Polder dreimal hinter einander durch Abschlusdeiche auf eine sehr kleine Fläche reducirt hatte.

Wenn durch die angegebenen Mittel die Strömung auch gemäßigt wird, so kann dieselbe dadurch doch keineswegs ganz aufgehoben werden, und wenn außerdem eine tiefe Rinne sich vollständig ausgebildet hat, so ist diese durch Erdschüttungen oder leichte Sandgedämme nicht mehr zu schliessen. Es ist daher am einfachsten, in solchem Falle den sehr schwierigen Schluß an derjenigen Stelle vorzunehmen, wo man den Deich hinlegen will. Man darf dabei aber Anfangs, und zwar so lange, wie ein kräftiger Strom noch hindurchgeht, weder Erde noch auch andres leichtes Material anwenden, das vom Wasser gelockert und fortgerissen werden könnte. Nur fest verbundene Faschinen, also vorzugsweise Senkstücke sind unter diesen Umständen der Zerstörung nicht ausgesetzt, und wenn solche auch keineswegs einen wasserdichten Schluß geben, so muß

man sie doch zur Schließung des Kolkes verwenden, weil man keine andre Wahl hat.

Zunächst kommt es darauf an, in den kurzen Zwischenzeiten, wo die Strömung ganz aufhört, oder doch sehr mäßig wird, das Profil des Durchbruches, welches geschlossen werden soll, möglichst genau zu messen und hiernach die ganze Disposition über den auszuführenden Bau zu treffen, damit letzterer geregelt und möglichst schnellen Fortgang hat, und nicht etwa in Folge eines unvorhergesehenen Mangels an Material unterbrochen werden muß.

Storm Buysing giebt*) eine ausführliche Beschreibung eines solchen Baues, die wohl am Passendsten zur Darstellung des ganzen Verfahrens in den wesentlichsten Punkten hier mitzutheilen sein dürfte.

Es wird ein specieller Fall vorausgesetzt. Es ist nämlich ein Deich an einem Ufer gebrochen, vor welchem der gewöhnliche Fluthwechsel $12\frac{1}{2}$ Fuß mißt. Der Kolk ist in der Deichlinie unter Niedrigwasser 15 Fuß tief, und in der Höhe des letzteren 460 Fuß breit. Der Deich soll bis $12\frac{1}{2}$ Fuß über das gewöhnliche Hochwasser heraufgeführt werden, eine Kronenbreite von $6\frac{1}{2}$ Fuß, eine Binnendossirung von $1\frac{1}{4}$ facher und eine Außendossirung von 4 facher Anlage erhalten. Außerdem soll ihm in der Höhe des gewöhnlichen Hochwassers eine Binnenberme von 19 Fuß und eine äußere Berme von $12\frac{1}{2}$ Fuß Breite gegeben werden. Die äußere Berme besteht über dem gewöhnlichen Niedrigwasser aus Packwerk, das auf der Deichseite ganz steil, auf der Seeseite aber, wie in den Niederlanden üblich, nur mit $\frac{1}{4}$ facher Anlage ausgeführt ist. Die innere Berme dagegen besteht nur zum Theil aus Packwerk, das eben so tief, wie das erste herabreicht, aber 4 Fuß hoch mit Erde überschüttet, auch nicht breiter, als das erste ist, indem sich landwärts eine Erdschüttung von durchschnittlich 11 Fuß Breite dagegen lehnt. Zwischen diesen beiden Prismen aus Packwerk wird der innere Raum von 80 Fuß Breite mit zäher Klaierde angefüllt und derselbe bildet zugleich die Basis des eigentlichen Deiches, dessen Dossirungen theils an den innern Rand des äußern Packwerks, und theils an die Vertikal-Ebene reichen, welche das innere Packwerk begrenzt.

*) Bouwkundige Leercursus. 1854. I. Seite 659 ff.

Die beiderseitigen Packwerke ruhen nun auf Senkstüklagen, welche die Erdschüttung unter dem Deiche einschließen. Die obern Lagen treten indessen an den äußern Seiten, sowol land- als seewärts etwa 10 Fuß vor den Packwerken vor, und die folgenden bilden in den stufenförmigen Absätzen durchschnittlich Dossirungen von zweifacher Anlage, während sie an den innern Seiten, wo sie die Erdschüttung begrenzen, etwa 1½fache Anlage in ihren Absätzen darstellen. Die beiderseitigen äußern Böschungen sind jedoch nach der vorliegenden Beschreibung in den verschiedenen Höhen verschieden, indem sie unten etwas flacher und oben etwas steiler gehalten werden sollen. Die Stärke oder Höhe der Lagen wird zu 3 Fuß angegeben. Die untersten Lagen erhalten viel größere Breiten, als sie nach den angegebenen Dossirungen haben würden. Sie treten nämlich so nahe zusammen, daß nur ein freier Raum von 10 Fuß Breite zwischen ihnen bleibt, um während des Baues die Erdschüttung hier dem Angriffe des Stromes möglichst zu entziehen. Dieser freie Raum liegt senkrecht unter der Deichkrone. Sodann springen die untern Lagen sowol seeseitig, als landseitig 30 Fuß weit vor die nächste Lage vor, indem sie wegen des überstürzenden Wassers als Sturzbette dienen sollen. In dieser Weise erhält die unterste Lage auf der Seeseite eine Breite von 125 Fuß und die auf der Landseite von 105 Fuß. Diese Breiten sind zu groß, als daß man sie in einem Senkstücke darstellen könnte, was um so schwerer sein würde, als es von großer Wichtigkeit ist, sehr wenige Quersfugen anzubringen, oder am besten solche ganz zu vermeiden, also die einzelnen Stücke über den ganzen Kolk hinüberreichen zu lassen. Die äußere Lage soll daher aus drei und die innere aus zwei Tafeln zusammengesetzt sein, die ihrer Länge nach neben einander liegen.

Vor dem Versenken der Stücke bemüht man sich, den Boden durch Anfüllen der tieferen Einsenkungen mit Thon möglichst zu ebenen. Alsdann bindet man die Senkstücke ab, worüber bei Gelegenheit des Hafenbaues ausführlicher die Rede sein wird. Hier wäre nur zu bemerken, daß die Methoden, die man in den Niederlanden dabei anwendet, viel einfacher, als die unsrigen sind, woher man in weit kürzerer Zeit große Stücke darstellen kann. Man baut dieselben auch nicht auf Rüstungen, worauf sie vollständig aufliegen, vielmehr werden sie am Rande des Ufers gepackt und ge-

bunden, und sobald ein Theil fertig ist, so schiebt man denselben ins Wasser, indem man dabei gewöhnlich das Steigen der Fluth benutzt. So kann es geschehn, daß man die langen Senkstücke in kurzer Zeit vollendet und versenkt. Dieselben werden jedesmal durch verschiedene Tauen in der richtigen Lage gehalten und indem sie bei der geringen Dicke nur einen kleinen Theil des Profils sperren, so sind sie keinem übermäßigen Andrang des Wassers ausgesetzt. Die Versenkung erfolgt jedesmal, wenn die Strömung aufgehört hat.

Die Zwischenräume zwischen den beiderseitigen Senkstücklagen werden mit guter Erde gefüllt und die auf beiden Seiten stufenförmig vortretenden Enden der Senkstücke mit Bauschutt bedeckt, so daß sich hier die beabsichtigten Dossirungen bilden. Die untern Senkstücklagen steigen auf den beiderseitigen Ufern an, alle folgenden werden horizontal aufgebracht. Sie bilden die Unterlagen der bereits erwähnten prismatischen Packwerke, welche die Erdschüttung einschließen, die man auch sogleich aufbringt. Letztere muß aber, sobald sie beim kleinsten Wasser sichtbar wird, durch Ueberdeckung mit Strauch gegen den Angriff des Stromes geschützt werden, und diese Decke ist jedesmal zu beseitigen, so oft eine neue Schüttung darüber kommt. Außerdem ist dafür zu sorgen, daß die jedesmalige Oberfläche nach der Seeseite leicht entwässert. Zu diesem Zwecke wird das landseitige Packwerk immer einige Fuß höher gehalten, als das gegenüber liegende, und die Erdschüttung ist in gleicher Weise geneigt, so daß sie sich an beide anschließt. Man pflegt auch das seeseitige Packwerk so niedrig zu lassen, daß bei jedem Hochwasser die Fahrzeuge, die Erde anbringen, darüber gehn können. Es wird alsdann in voller Höhe erst dargestellt, wenn der größte Theil des Deiches bereits geschüttet ist.

Sobald endlich das landseitige Packwerk bis 3 oder 4 Fuß unter gewöhnliches Hochwasser aufgeführt ist und die Erdschüttung daneben dieselbe Höhe hat, so wird der vollständige Abschluß des Wassers durch einen leichten Schlußdamm bewirkt. Letzterer ruht auf der Erdschüttung und lehnt sich mit seiner landseitigen Dossirung gegen das innere Packwerk. Seine Krone von 4 Fuß Breite ragt etwas über gewöhnliche Springfluthen hervor. Seine beiderseitigen Böschungen erhalten nur einfache Anlage. Obwohl es immer sehr wünschenswerth ist, diesen Abschluß möglichst bald

nachen, weil der Polder nicht früher trocken gelegt werden kann und das Fluthwasser darin ihn dauernd bis zur Krone des Packwerkes anfüllt, so darf man dennoch diese wichtige Arbeit nicht zu früh und nicht bei ungünstiger Witterung vornehmen. Die Erdschüttung darunter muß hinreichende Zeit gehabt haben, sich genügend zu setzen, indem man aber die lose Erde aufbringt, muß das Wasser abgesehn von der Strömung ganz ruhig sein und darf nicht ellen schlagen. Man wartet daher stilles Wetter und das Eintreten von Landwind ab, während Alles vorbereitet wird, um den Schluß möglichst schnell fertig stellen zu können. Sollte gegen Erwarten während der Schüttung dieses Dammes eine besonders hohe Fluth oder ein starker Seewind eintreten, so wird die aufgebrachte Erde gespült und die Arbeit muß später aufs Neue gemacht werden.

Ist dieser Damm zum Schlusse gebracht, so hat auch die Ueberwagung aufgehört, und die Ausführung des eigentlichen Deiches gewöhnlicher Weise bietet keine weitere Schwierigkeit mehr. Die äußerliche Erde wird immer von der Seeseite aus angefahren, um man sie von hohen Außendeichen entnimmt, wenn dieselben auch in einiger Entfernung liegen. Damit nun die Fahrzeuge, in sie angefahren wird, immer möglichst nahe und bequem ankommen und bei Schüttung des kleinen Schlufsdeiches selbst bis an den Ort gelangen können, so wird das äußere Packwerk erst später zur vollen Fluthhöhe heraufgeführt.

Dafs bei solchem Deiche noch ein bedeutendes Sacken eintritt, darf kaum der Erwähnung und man muß deshalb gleich Anfangs Theile in gröfserer Höhe ausführen, als sie später haben sollen. Hier grofse Vorsicht muß aber darauf verwendet werden, dafs bei starken Durchquellungen nicht grofse Erdmassen aus dem Innern abgeführt werden. In dieser Beziehung ist es besonders wichtig, dafs die Stöße zwischen den Senkstücken nicht zusammentreffen, mehr in den einzelnen Lagen gehörig abwechseln, wenn man nicht, wie bereits erwähnt, ganz vermeiden kann. Jedenfalls muß aber auch jede nächste Lage sowol die Lang- als die Querschnitte der darunter befindlichen überdecken. Dieser Vorsicht unachtet zeigt sich ein solcher Deich doch immer als ziemlich uneben und am meisten wird das Durchquellen des Wassers noch durch den Erdkern im Innern des Deiches verhindert, der sich von der Sohle des Kolkes bis zur Krone heraufzieht. Es muß daher

große Sorgfalt darauf verwendet werden, daß dieser nur aus und dicht gelagerter Erde besteht.

Es wäre noch zu erwähnen, daß man hinter sehr hohen Deichstrecken zuweilen noch Binnendeiche ausführt, um im Falle eines Durchbruches nicht gar zu große Landflächen der Inundation preis zu geben und um zugleich die ein- und ausgehende Strömung möglichst zu mäßigen. Man erreicht hierdurch zunächst denselben Vortheil, daß der Bruch weniger erheblich wird, weil das Verhältniß zu der überströmten Fläche weniger Wasser hindurchfließt und außerdem wird es hierdurch auch leichter, wie bereits bei den Rückdeichen, den Bruch bald wieder zu schließen. Diese Rückdeiche (Rückdijken) pflegen etwa 100 Ruthen hinter den Hauptdeichen zu liegen. Sie brauchen nur schwach profilirt zu sein, da sie beim Brechen dem Hauptdeiche keinem erheblichen Wellenschlage ausgesetzt sind. Ihre gehörige Unterhaltung muß aber immer Sorge getragen werden. In manchen Fällen ist mit Sicherheit vorauszusehn, daß ein äußerer Deich für die Dauer nicht gehalten werden kann, und ein solcher Rückdeich einst Hauptdeich werden muß. In solchen Fällen empfiehlt es sich, demselben wenn auch nicht die volle Kronenhöhe und Kronenbreite, doch wenigstens diejenige flache Böschung zu geben, die er später haben muß. Wenn die Kosten sich dadurch auch wesentlich vergrößern, so tritt doch der Vortheil ein, daß, so lange der Deich nicht in Wirklichkeit bricht, diese Böschung als Weide beinahe denselben Ertrag wie der frühere horizontale Boden unter ihr, während die Böschung nur wenig benutzt werden kann und weit größere Aufmerksamkeit in der Unterhaltung erfordert.

In den Niederlanden sind Anlagen dieser Art wiederholt ausgeführt. So bildet der aus reinem Seesande bestehende Deich mittelbar an der Nordsee belegene Deich bei Petten, die Hoog Zeeweering genannt, alles Uferschutzes ohnerachtet, wovon die Rede sein wird, dennoch keine hinreichende Sicherheit dahinter liegenden sehr ausgedehnten und fruchtbaren Polder. Bei einem Durchbruche dieses Deiches würde indessen der durchschnittene alte Westfriesische Deich, der den Polder im Süden begrenzt, auch kaum zu halten sein, und die Ueberflutung würde sich alsdann über einen großen Theil von Friesland ausdehnen. Aus diesem Grunde ist im Innern des

Der Dänen noch ein sogenannter Seedeich ausgeführt und verschiedene Anschlüsse mit den Dänen verbunden. Wenn der Sanddeich einst durchbrechen sollte, so würde jedesmal ein Theil des Binnenlandes unter Wasser gesetzt werden. In ähnlicher Weise ist ohnfern Delft hinter der schwachen, durch Uferbauten gesicherten, Dänenkette, von dem Maasordwärts abgehend bis jenseits Terheyde ein Binnendeich, während bei Loosduinen ein anderer kürzerer sich befindet, haben nur den Zweck, daß sie bei einem möglichen Bruche der Dänen das dahinter liegende Land sichern.

In der Provinz Friesland, die besonders tief liegt, sind aus dem Lande verschiedene und zum Theil sehr lange Binnendeiche vorhanden. Dieselben haben sich bereits bewährt. Als nämlich eine sehr hohe Sturmfluth am 4. und 5. Februar 1825 durch an dreißig Stellen durchbrach, hielten sie dennoch von den niedrigen Theilen der Niederung das Wasser ab.

§. 18.

Siele.

In eingedeichten Niederungen neben dem Meere müssen eben diejenigen, welche an den oberen Stromtheilen liegen, mit entsprechenden Vorrichtungen zur Entwässerung versehen sein. Ueber die Einrichtung der Gräben im Innern ist nichts zu erwähnen, dagegen die Entwässerungs-Schleusen oder Siele manche Eigenheiten.

Marschen, von denen hier die Rede ist, liegen jederzeit an Strömen oder an Busen, welche einem größern oder kleineren, aber doch immer einem merklichen Fluthwechsel unterworfen sind. Die Auswässerung ist um so stärker, je größer das Gefälle oder je tiefer das äußere Wasser gesunken ist. Häufig geschieht es selbst das größte Gefälle, das sich beim Fluthwechsel, nur nothdürftig, um die Auswässerung so zu beschleunigen, so vollständig zu bewirken, wie die landwirthschaftlichen Bedürfnisse dieses fordern. Dieses ist fast bei allen Marschen im Frühjahr oder nach anhaltendem Regen der Fall. Oft liegen

die eingedeichten Flächen auch so niedrig, daß sie beinahe das ganze Jahr hindurch einer kräftigen Auswässerung bedürfen, weil sie zugleich einem starken Eindringen des Grund- oder Quellwassers unterworfen sind. Während jeder Fluth wird die Ausströmung vollständig unterbrochen, indem alsdann nicht nur das Gefälle ganz aufgehoben wird, sondern ein solches sich sogar in entgegengesetzter Richtung bilden würde, wenn die Schleuse geöffnet bliebe. Aus diesem Grunde muß letztere in kurzen Zwischenzeiten, nämlich in Perioden von etwas über 12 Stunden geöffnet und geschlossen werden. Die Entwässerung fordert aber die möglichste Aufmerksamkeit in der Handhabung der Schütze oder sonstigen Vorrichtungen, damit weder der Abfluß verzögert wird, noch auch die Schleuse so lange offen bleibt, daß das Meerwasser in den Polder einströmt. Dabei kommt auch noch der Umstand in Betracht, daß dieser Dienst sich keineswegs auf die Tagesstunden beschränkt, sondern häufig mitten in der Nacht versehn werden muß, und bei der ungünstigsten Witterung die größte Sorgfalt erfordert. Das Ziehen der Schütze wäre sonach bei den Entwässerungs-Schleusen am Meere überaus beschwerlich, und ob es stets regelmäßig ausgeführt wird, ließe sich kaum controliren, namentlich da viele dieser Schleusen an abgelegenen Orten sich befinden.

Aus diesem Grunde pflegt man solche Vorrichtungen zum Schließen der Oeffnungen zu wählen, die von selbst und zwar durch den wechselnden Wasserstand auf der äußern Seite in Thätigkeit gesetzt werden. Die gewöhnlichste unter diesen Vorrichtungen besteht in Stemmthoren, die nach der Seeseite aufschlagen. Sobald bei der Ebbe der äußere Wasserstand bis unter den innern herabgesunken ist, so werden die Thore von selbst durch den Druck geöffnet, und die Auswässerung beginnt. Dieselbe dauert so lange, bis während der Fluth das äußere Wasser etwas über das innere gestiegen ist. Alsdann tritt eine entgegengesetzte Strömung ein, und wenn die Thore nicht ganz zurückgeschlagen waren, was man durch besondere Vorkehrungen verhindern muß, so werden sie von dem eingehenden Strome gefaßt und geschlossen. Das äußere Wasser kann alsdann nicht mehr ins Binnenland eindringen, wenn die Fluth auch zu großer Höhe ansteigt.

Eine andre eigenthümliche Anordnung dieser Schleusen wird durch den Wellenschlag veranlaßt, dem sie ausgesetzt sind. Man pflegt

war, in sofern jede Schleuse unbedingt eine schwache Stelle im Deiche bildet, sie immer so zu legen, daß sie möglichst geschützt ist, und von den heftigsten Wellen nicht getroffen wird, doch läßt sich diese Vorsicht selten so weit ausdehnen, daß die Gefahr wirklich unter allen Umständen verschwindet, und oft bietet die Richtung und Lage des Deiches, wenn man ihn nicht in andrer Beziehung gefährden und etwa mit vorspringenden Ecken versehen will, eine gesicherte Stellung der Schleuse. Sobald ein heftiger Wellenschlag eintritt, so wirkt derselbe immer am zerstörendsten, wo die Regelmäßigkeit der Fläche unterbrochen wird, und dieses läßt sich an Anschlusse der Erdböschung an die Mauern oder Bohlwände, welche die Seiten-Einfassung der Schleuse bilden, nicht vermeiden. Man müßte also immer besorgen, daß neben der Schleuse die Erde ausgespült würde, und indem mit der zunehmenden Unregelmäßigkeit der Böschung auch der Angriff gegen solche Stelle sich verstärkt, so wäre die Gefahr eines Deichbruches hier besonders groß. Man würde allerdings durch Bedeckung der Dossirung mit Steinen diese Gefahr bedeutend vermindern können, aber abgesehen von den hohen Kosten der Anlage und Unterhaltung solcher Deckung, verliert doch immer die gleichmäßige Durchführung der Erdböschung ihren Vorzug.

Hierzu kommt noch, daß bei der an den obern Strömen üblichen Anordnung der Entwässerungs-Schleusen, die einen offenen Canal darstellen, die Thore bis zur Krone des Deiches reichen müssen, wodurch sie eines Theils sehr schwer und deshalb weniger beweglich werden, andern Theils aber auch ein Werfen und Versinken in ihrer ganzen Verbindung leicht veranlaßt werden kann, wodurch der genaue und scharfe Schluß verschwindet. Mit Rücksicht auf beide erwähnte Umstände wird die Schleuse überdeckt, und bildet eine Art von Durchlaß, wie solche bei Straßendämmen vorkommen. Ist die Schleuse massiv, so besteht diese Decke aus einem Gewölbe, beim Holzbau dagegen aus hinreichend starken Balken oder Bohlen. Ueber ihr liegt der Erddeich, und sonach setzt sich der obere Theil des Deiches ununterbrochen über die Schleuse fort. Bei niedrigem Wasser und gewöhnlichen Fluthen zeigt sich auch bei dieser Einrichtung jene erwähnte Ungleichmäßigkeit in der äußern Fläche des Deiches, aber alsdann ist wegen der Höhe im Vorlande der Wellenschlag selbst beim Sturme noch nicht

besonders zu fürchten. Anders verhält es sich bei den höchsten Wasserständen, wobei der Wellenschlag den Deich in der Nähe der Krone am stärksten angreift und hier ist durch diese Einrichtung jede Ungleichmässigkeit verschwunden.

Solche überdeckte und mit Stemmtoren versehene Entwässerungs-Schleusen, die mit seltenen Ausnahmen in den Seedeichen allgemein üblich sind, nennt man Siele. Dieselbe Benennung gibt man freilich zuweilen auch den Schleusen in den Deichen anderer Ströme und namentlich wenn sie mit Stemmtoren versehen sind; letzteres kommt jedoch nur selten vor, und ist nicht zu empfehlen, da der Wasserwechsel hier nur in langen Perioden eintritt, also das Oeffnen und Schliessen der Schütze sehr sicher durch die Wärter ausgeführt werden kann. Siele sind daher im Allgemeinen nur bei den Seedeichen im Gebrauche.

Bei Anordnung der Siele kommen verschiedene Umstände in Betracht, und zunächst ist die Stelle, wo ein solches erbaut werden soll, mit Vorsicht auszuwählen. Eine Rücksicht, welche für die Entwässerungs-Schleusen an den obern Stromtheilen von besonderer Bedeutung ist, dass dieselben nämlich an den untern Enden der Deiche liegen müssen, kommt bei den Sielen in eigentlichen Seedeichen nicht in Betracht, weil vor diesen das Wasser gleich tief zu ebbem pflegt, wenn sie auch eine grosse Ausdehnung haben. Dagegen ist bei Seedeichen, die sich auf grosse Länge zur Seite eines Stromes hinziehen, dieselbe Rücksicht allerdings zu beachten, weil der Wasserstand am Ende der Ebbe um so tiefer ist, also die Entwässerung um so vollständiger erfolgt, je näher die Stelle an der offenen See liegt. Gewöhnlich wird dieser Unterschied jedoch so geringfügig, dass man ihn unbeachtet lassen darf, und sonach die Wahl der Baustelle nur von andern Rücksichten abhängt.

Vorzugsweise kommt es darauf an, das Siele, das jedesmal eine schwache Stelle im Deiche bildet, vor dem stärksten Wellenschlage und dem Angriffe des Stromes und Eises möglichst zu sichern. In dieser Beziehung wird man die Baustelle, so viel geschehn kann, in eine Deichstrecke zu verlegen suchen, die den heftigsten Winden weniger ausgesetzt, oder durch davor liegende Inseln und vorspringende Ufer gegen einen starken Seegang geschützt ist; so wie man auch vermeiden muss, sie in eine Deich-Concave zu legen, wenn sich längs derselben ein starker Strom hinzieht, oder besonders

iger Andrang des Eises daselbst zu besorgen ist. In beiden Lehungen ist es vorzugsweise wichtig, das Siel im Schutze eines hohen und hohen Vorlandes zu erbauen.

Die letzte Rücksicht ist oft mit einer andern unvereinbar, welche so wichtig ist. Das Siel muß nämlich durch eine hinreichend breite und tiefe Rinne, oder durch das sogenannte Sieltief mit dem natürlichen Stromschlauche oder mit der offenen See in Verbindung bleiben. Ist dieses Tief sehr lang und dabei enge, gekrümmt und flach, wie oft geschieht, so bildet sich darin zur Zeit des niedrigen Wassers, also während die Auswässerung erfolgt, schon ein starkes Gefälle, oder der Wasserstand unmittelbar vor dem Siele ist merklich höher, als der des offenen Stromes oder des Meeres. Die Entwässerung der eingedeichten Niederung kann alsdann nicht so schnell und so vollständig erfolgen, als wenn das Sieltief von den erwähnten Mängeln frei wäre. Diese Mängel sind aber immer um so auffallender, je breiter und höher das Vorland ist.

In vielen Fällen ist die Baustelle für das Siel schon sehr bestimmt gegeben. Wenn nämlich der Groden, den man neu eindeichen will, vor andern Niederungen liegt, die durch ihn entwässern, oder vielleicht sogar noch aus weiter Entfernung das Regenwasser hier abgeführt werden muß, so hat sich das Sieltief nach den früheren Verhältnissen vollständig ausgebildet, und wenn man das neue Siel von diesem weit entfernen wollte, so müßte man nicht nur einen ganz neuen Entwässerungsgraben auf der Binnenseite, sondern auch ein neues Sieltief auf der äußern Seite darstellen. Die Kosten dafür würden die ganze Anlage wesentlich vertheuern, und dazu käme noch der Uebelstand, daß der innerhalb des neuen Deiches belegene Theil des alten Sieltiefes eine Schlenke bilden würde, die keinen Ertrag gäbe. Man ist daher fast jedesmal gezwungen, das neue Siel in das alte Sieltief selbst, oder doch nur wenig weiterwärts zu verlegen. Das letzte geschieht oft nur, um während des Baues die Auswässerung nicht zu unterbrechen.

Die Beschaffenheit des Grundes ist ferner bei der Wahl der Baustelle noch vorzugsweise zu berücksichtigen. Das Gewicht des Sieles ist an sich nicht bedeutend, und bei der Ueberschüttung mit Erde wird es auch nicht größer, als das einer gleich langen Deichstrecke. Das Setzen des Untergrundes ist dabei aber sehr nachtheilig, und zwar eben sowol, wenn das Siel selbst daran Theil

nimmt, als wenn es hieran verhindert wird. Giebt man dem Siel eine feste Fundirung, oder stellt man es auf einen Pfahlrost, so ist es zwar an sich vor dem Einsinken gesichert, aber die Deichschlüsse zu beiden Seiten senken sich über dem losen Grunde, wo sie auf solchen treffen, und es bilden sich zwischen ihnen und dem Deiche, der auf dem Siele ruht, sehr merkliche Fugen, die von der äufsern Böschung bis zur innern hindurchreichen. Auf dieser Art entstehn beim Hochwasser starke Quellen, die, wenn sie lang wirksam sind, immer kräftiger werden und endlich den Durchbruch veranlassen können.

Wenn dagegen das Siel nicht sicher gegründet ist, also nur auf dem Boden liegt, und mit dem Deiche sich gleichmäfsig senkt, so findet eine solche Trennung im Deichkörper zwar nicht statt, aber dagegen ist die Senkung des Sieles nicht überall gleich groß, vielmehr unter der Krone des Deiches am stärksten, und an beiden Enden am geringsten, oder sie verschwindet hier ganz. Das Siel nimmt also nach der Längenrichtung eine gekrümmte Form an und sein Verband löst sich. Bei gewissen Holz-Constructionen kann man diese Durchbiegung theils mäßigen, indem man den Seitenwänden grofse Steifigkeit giebt, theils auch sie unschädlich machen, indem man die Trennung der Verbandstücke hindert. Solche Anordnung ist auf losem Untergrunde mehrfach mit Erfolg versucht worden, doch ist jedenfalls ein fester Baugrund bei Weitem vorzuziehen.

Endlich ist bei der Wahl der Baustelle auch darauf zu achten, dafs das Sieltief nicht der Gefahr einer zu schnellen Verlandung ausgesetzt sein darf. In demselben findet nur während der letzten Ebbe und der ersten Fluth einige Strömung statt, nämlich so lang das Siel geöffnet ist. Die erdigen Theilchen, welche die Fluth herbeiführt, schlagen demnach in grofser Masse in dem Sieltief nieder und dasselbe verliert in kurzer Zeit die Tiefe, die man ihm künstlich gegeben hatte. Dazu kommt noch die Wirkung des Wellenschlages, der namentlich bei dem Uebergange über ein unbenarbetes und weiches Watt die Oberfläche desselben ausgleicht, und die Erhöhungen und Vertiefungen darin sehr bald beseitigt. In der Nähe des Sieles ist dieses zwar zu verhindern, indem man das Tief mit Packwerk einfafst, auch bleibt die Strömung daselbst noch so wirksam, dafs sie die Verschlammung, die während der Fluth eingetreten

bald wieder beseitigt. In weitem Abständen sind aber die Einungen schwer zu erhalten, und die Ausströmung wird immer niger wirksam, so daß beim niedrigsten Wasserstande häufig nur flache Rillen auf dem Watten zu bemerken sind, durch welche das Binnenwasser mit starkem Gefälle abfließt. Die Eigenthümlichkeit des strömenden Wassers, jede Krümmung in seinem Bett zu durchschneiden und nach zu verstärken, verbunden mit den Wirkungen der Fluth- und Ebbe-Strömungen, die vor dem Ufer vorbeiziehn, vergrößern noch diese Unregelmäßigkeiten, und so geschieht es, daß die Auswässerung meist nicht so weit ausgedehnt werden kann, als es möglich wäre, wenn die Sieltiefe gehörig geöffnet blieben. In vielen Fällen ist dieser Umstand nicht als nachtheilig zu betrachten, weil die Polder so hoch liegen, daß eine noch tiefere Senkung des Wasserstandes in den Gräben kein Bedürfnis ist, und selbst der Cultur Schaden würde. Bei anhaltender Dürre muß man sogar oft die weitere Auswässerung unterbrechen, woher die Siele fast jedesmal noch mit besondern Vorrichtungen an der innern Seite versehen sind, um die Ausströmung des Binnenwassers, so oft es nöthig ist, zu verhindern.

Häufig muß man dagegen noch einen andern Umstand berücksichtigen, der ein möglichst gerades und zugleich hinreichend tiefes Sieltief fordert. Dieses ist die Schifffahrt. Die Siele dienen nämlich in manchen Fällen auch zum Durchgange kleiner Seeschiffe, und sind alsdann entweder wie Kammerschleusen eingerichtet, oder, wie meist geschieht, der Durchgang der Schiffe findet nur in der Zeit statt, wenn die Thore bereits geöffnet sind. Die von beiden Seiten ankommenden Schiffe müssen daher geräumige und hinreichend sichere Liegeplätze finden, in welchen sie diesen Zeitpunkt abwarten können. Kommt das Schiff aus der See, so ist es gemeinhin sehr schwer, während der Ebbe, also während das Wasser noch höher ist, das Sieltief zu durchsegeln, weil alsdann die Strömung ihm entgegenkommt. Während der ersten Fluth dagegen ist zwar die Strömung günstig, aber es fehlt alsdann der hinreichende Wasserstand im Tiefe, wenn dieses nicht gehörig offen erhalten ist. Dieser Umstand verursacht oft einen langen Aufenthalt der Schiffe vor dem Siele, bevor sie dasselbe durchfahren können, und da nicht leicht ein gehöriger Hafen daneben eingerichtet ist, so müssen sie im offenen Wasser und zwischen den Wattgründen liegen blei-

ben, wo sie bei unruhiger Witterung manchen Gefahren ausgesetzt sind.

Das Mittel, welches man vielfach anwendet, um Sieltiefe periodisch zu räumen, ist dasselbe, das zu gleichem Zwecke auch bei binnenländischen Strömen benutzt wird, nämlich der Sielpflug, der bereits im zweiten Theile dieses Handbuches (§. 91) ausführlich beschrieben ist. Er dient zum Aufkratzen und Fortschieben des noch weichen Schlammes, während der Druck des aus dem Siele strömenden Wassers ihn in Bewegung setzt.

Die meisten Siele, wenn sie auch zum Durchgange kleiner Seeschiffe dienen, sind überdeckt, woher die Maste niedergelegt werden müssen. Der Entwässerungsgraben auf der Binnenseite bildet zugleich den Schiffahrts-Canal, und unmittelbar neben dem Siele pflügt er zu einem weiten Busen verbreitet zu sein. In demselben liegen die ankommenden Schiffe, bis sie durchgehn können. Diese Verbreitung hat noch für die Entwässerung den wesentlichen Nutzen, daß eine große Wassermenge sich darin ansammelt, die beim Aufgehn der Thore sogleich abfließt und wegen der geringen Entfernung vom Siele keines starken Gefälles bedarf. Sobald dagegen die Thore sich schliessen, und die Auswässerung aufhört, so dauert dennoch der Zufluß in diese Bassins aus den weiter zurückliegenden Gräben längere Zeit hindurch fort, bis endlich überall ein gleicher Wasserspiegel eingetreten ist. Dieser Umstand ist von besonderer Bedeutung und befördert wesentlich die Auswässerung, wenn die Dauer der Wirksamkeit des Sieles sehr beschränkt ist.

Die Sohle des Sieles oder die Schlagschwelle muß, wie gewöhnlich als Regel angenommen wird, unter dem niedrigsten äußern Wasserstande liegen, weil sonst die Auswässerung erschwert, auch zu Zeiten ganz behindert werden könnte. Je tiefer sie gesenkt wird, um so größer ist der Querschnitt der hindurchströmenden Wassermenge, und um so größer wird zugleich bei demselben Gefälle ihre Geschwindigkeit. Es verstärkt sich also hierdurch der Abfluß oder die Wirksamkeit des Sieles in doppelter Beziehung. Nichts desto weniger können Polder, welche recht hoch liegen, auch ohne die angegebene Senkung des Sieles vollständig entwässert werden, während andererseits die tiefe Lage des Sielbodens wenig nützt, wenn der äußere Abflußgraben oder das Sieltief hoch verlandet ist, und dadurch das Sinken des Wasserstandes doch

ndert wird. Die Anlage eines Sieles wird aber sehr erschwert und
 euert, wenn dessen Boden einige Fuß tiefer gelegt werden soll, als
 wendig ist, und hierzu kommt noch, daß derselbe alsdann sowie
 die Thorkammer einer starken Verschlammung ausgesetzt ist, und
 kurzen Zwischenzeiten immer gereinigt werden muß. Aus diesem
 unde scheint es angemessener, in jedem einzelnen Falle die Höhen-
 des Bodens nach dem Bedürfnisse und den localen Verhältnissen zu
 stimmen, als dabei einer allgemeinen Regel zu folgen. Es muß
 och bemerkt werden, daß man namentlich in den Niederlanden
 le Beispiele findet, in welchen die Siele wegen ihrer zu hohen
 ge die Auswässerung wesentlich hindern. Wenn endlich ein Siel
 m Durchgange von Schiffen bestimmt ist, so muß gemeinhin die
 hlagschwelle noch tiefer, als nach jener Regel, gesenkt werden.
 edann tritt nämlich die Bedingung ein, daß bei dem kleinsten
 innenwasser sich noch die nöthige Schiffahrtstiefe über dieser
 hwelle darstellen muß.

Die Höhe des Sieles pflegt man in der Art zu bestimmen,
 als die Decke oder die Anfänge des Gewölbes vom höchsten Bin-
 innenwasser noch nicht erreicht werden. Wenn Schiffe hindurchgehn
 llen, so muß die Decke oder das Gewölbe noch so weit gehoben
 erden, daß der nöthige Zwischenraum für die Schiffe, und zwar
 am höchsten Binnenwasser sich darstellt.

Insofern nach diesen Erörterungen die Höhenlage der Sohle
 nd der Decke eines Sieles von der Ausdehnung der Fläche, die
 urch dasselbe entwässert wird, beinahe ganz unabhängig ist, so
 uß derjenige Querschnitt der Oeffnung, der zur Abführung des
 innenwassers erforderlich ist, vorzugsweise durch angemessne Ver-
 reitung des Sieles dargestellt werden. Die hierbei anzustellende
 untersuchung stimmt sehr nahe mit derjenigen überein, die zur Be-
 timmung der Dimensionen der Entwässerungs-Gräben gewöhnlicher
 usniederungen dient (Theil I dieses Handbuches §. 28), doch wird
 ie Rechnung in sofern schwieriger, als das Gefälle nicht constant
 ist, vielmehr wegen der Fluth und Ebbe sich fortwährend ändert.
 Demnächst muß dabei auch auf das Gefälle im Sieltiefe zur Zeit
 des niedrigsten Wassers Rücksicht genommen werden.

Man pflegt die Bedingung zu stellen, daß der stärkste tägliche
 Niederschlag in zwei Auswässerungen abgeführt werden muß. Je
 höher die Niederungen sind, um so leichter ist diese Bedingung zu

erfüllen, aber um so weniger ist sie auch maafsgebend, da niemals mehrere Tage hinter einander der Niederschlag seine äufserste Grenze erreicht, oder auch nur derselben nahe kommt. Es ist aber meist ohne Nachtheil, wenn nach starkem Regen das Grundwasser etwas steigt und die Gräben für kurze Zeit um einige Zolle sich höher anfüllen. Aus diesem Grunde bestimmt sich die Weite der Siele vorzugsweise nach dem Bedürfnisse der Auswässerung im ersten Frühjahre. Da jedoch in der Nähe der See der Frost nicht so stark, auch nicht so anhaltend zu sein pflegt, als im Binnenlande, so erfolgt das Schmelzen grosser Schneemassen nicht so plötzlich, vielmehr thauen dieselben sehr bald nachdem sie gefallen sind auf, und das Wasser wird grossentheils schon während des Winters abgeführt. Hiernach darf angenommen werden, dafs in den hoch gelegenen Seemarschen die Entwässerungs-Anlagen nicht so kräftig zu sein brauchen, als in Poldern von gleicher Gröfse an oberländischen Strömen. Wenn dagegen die Marsch sehr niedrig ist, und sonach auch durch Quellwasser gefüllt wird, so mufs für eine viel kräftigere Auswässerung gesorgt werden.

Hunrichs^{*)} hat versucht, aus Erfahrungen das Verhältnifs der Durchflufs-Oeffnung des Sieles zu der Gröfse des Polders festzustellen. Er ist dabei zu dem Resultate gekommen, dafs in der Regel für 50 Jück oder 3 Millionen Quadratfufs Land 1 Quadratfufs Durchflufs-Oeffnung im Siele genügt. Hiernach würde eine Fläche von 115 Preussischen Morgen nur 1 Quadratfufs Siel-Oeffnung bedürfen. Diese Regel soll aber nur für Niederungen gelten, die wenigstens 5 bis 6 Fufs über dem gewöhnlichen Niedrig-Wasser liegen.

Tetens^{**}) tadelt mit Recht den Versuch, eine solche allgemeine Regel aufstellen zu wollen, da doch die Verhältnisse in jedem Falle verschieden sind, und wesentliche Abweichungen bedingen. Brahm hatte in dieser Beziehung einen viel richtigeren Weg eingeschlagen, indem er die jedesmaligen localen Verhältnisse berücksichtigen wollte. Der damalige Zustand der Wissenschaft gestattete jedoch nicht, diesen Weg strenge zu verfolgen, und auch heutiges Tages bietet derselbe grosse Schwierigkeiten, weil es nicht leicht ist, alle erforder-

^{*)} Practische Anleitung zum Deich-, Siel- und Schlengenbau. Bremen 1770. Theil I. Seite 269.

^{**}) Reisen in die Marschländer der Nordsee. Leipzig 1788. Seite 279.

ben Data zu sammeln, die zum Theil sich vorher nicht bestimmen lassen und von manchen Zufälligkeiten abhängig sind. Nichts desto weniger dürften die so gefundenen Resultate doch zuverlässiger sein, als die aus ganz verschiedenartigen Erfahrungen hergeleiteten Regeln.

Storm-Buysing*) ist Hunrichs gefolgt und hat für die Niederländischen Marschen, die meist sehr tief liegen, und sonach nur während kurzer Zeit abwässern, gefunden, daß die größeren Siele auf je 1000 Bunders eingedeichte Fläche 2 bis 4 Ellen oder Meter weit sind. Nach unseren Maassen kommt also auf je 100 Morgen eine lichte Weite von $1\frac{1}{2}$ bis 3 Fufs. Der Sielboden soll dabei in der Höhe des gewöhnlichen niedrigen Wassers liegen. Bei kleineren Poldern giebt man dagegen den Sielen beträchtlichere Weiten und dieses zum Theil schon deshalb, weil die übliche Construction sich auf sehr kleine Dimensionen nicht anwenden läßt.

Ist das Siel zugleich für den Durchgang von Schiffen bestimmt, so muß die Weite der Breite der letzteren entsprechen. In keinem Falle darf diese Weite aber das Maass von 18 Fufs übersteigen, weil sonst die Ueberdeckung nicht mehr die nöthige Sicherheit bieten würde. Auch bei massiven Sielen müßte das Gewölbe wegen der alsdann erforderlichen Pfeilhöhe desselben sich schon so hoch erheben, daß der Deich darüber gar zu niedrig, also zu schwach ausfallen würde. Sobald die Schifffahrt eine grössere Weite bedingt, so muß man ein unbedecktes Siel erbauen, also eine Schiffs-Schleuse, die zugleich als Entwässerungs-Schleuse benutzt wird. Häufig trennt man aber auch in solchem Falle die Anlage, und richtet neben der Schiffs-Schleuse ein Siel ein.

Bei Bestimmung der lichten Weite und Höhe eines Sieles muß man noch darauf Rücksicht nehmen, daß beide Dimensionen in einem angemessenen Verhältnisse zu einander stehn. Namentlich darf die Höhe nicht geringer, als zwei Drittheile der Weite sein, weil sonst die Construction der Thore Schwierigkeiten bietet, und besonders das Durchsacken derselben kaum zu verhindern sein möchte.

Wenn die abzuführende Wassermenge eine grössere Weite, als von 18 Fufs fordert, so stellt man das nöthige Ausfluß-Profil dadurch dar, daß man zwei Siele neben einander erbaut. In dieser

*) Bouwkundige Leercursus. 1857. II. Pag. 840.

Weise wurden bei der Eindeichung des Wapeler Grodens in den Jahren 1822 und 1823 auf der südlichen Seite des Jade-Busens zwei Siele ausgeführt, von denen das eine, das zugleich zum Durchgange von Schiffen bestimmt war, 17 Fufs, das andre aber nur 12 Fufs weit war. Beide erhielten ein gemeinschaftliches Sieltief, und die Zuleitungs-Canäle, von denen der erste die Jade, und der zweite die Wapel aufnahm, wurden zwar besonders dargestellt, jedoch neben den Sielen mit einander verbunden, so dafs die Auswässerung eben sowol durch das eine wie durch das andere erfolgen konnte. Man erreichte hierdurch noch den Vorthail, dafs man, ohne die Entwässerung ganz zu unterbrechen, die nöthigen Reparaturen an einem Siele vornehmen und dasselbe zeitweise schliessen konnte.

Eine wichtige Frage in Betreff der Anordnung der Siele bezieht sich darauf, ob man dieselben nur mit einem, oder mit zwei Paaren Stemmtiore versehn soll, die beide gegen die Fluth aufschlagen, also sich gegenseitig unterstützen. In den ältern Oldenburgischen Sielen, die sich durch sehr zweckmäfsige Construction auszeichnen und grösstentheils von Hunrichs herrühren, findet man jedesmal den doppelten Thorverschluss, auch kommt derselbe in den Niederländischen Sielen häufig vor. Der Nutzen dieser Anordnung besteht darin, dafs man bei ungewöhnlich hohen Fluthen und besonders wenn die Thore schon etwas schadhaft sind, den starken Wasserdruck vertheilen, und sonach die Gefahr für jedes Thor wesentlich vermindern kann. Ausserdem wird hierdurch auch die Gelegenheit geboten, die schadhaften Thore herauszunehmen und in Stand zu setzen, ohne dafs die Auswässerung des Sieles unterbrochen werden darf, weil während dieser Zeit noch das andre Thorpaar in Wirksamkeit bleibt.

Man darf indessen diese Vorthelle des doppelten Thor-Verschlusses nicht zu hoch anschlagen, denn zunächst ist das Aus- und Einhängen der innern Thore, die im Siele selbst liegen, viel mühsamer, und bei dem Mangel an Licht kann sogar die Untersuchung derselben nicht so sicher vorgenommen werden, als die der äufsern Thore. Sodann täuscht man sich aber auch, wenn man glaubt, dafs bei dieser Einrichtung das zweite Thorpaar in Wirksamkeit treten soll, sobald das erste unter hohem Wasserdrucke gebrochen ist. Wenn nämlich alle vier Flügel so gestellt sind, dafs sie durch den

enden Strom gefasst und geschlossen werden können, so geht dieses dennoch nicht, weil das eine immer etwas beweglicher als das andre ist. Schon bei einem Thorpaare schliessen sich die Flügel nie gleichzeitig, vielmehr bleibt einer jedesmal länger geöffnet, als der andre, und bedarf zu seiner Bewegung schon eines stärkeren Stromes, der sich erst später einstellt. Bei zwei Thorpaaren geschieht dasselbe. Dasjenige Paar, dessen beide Flügel am beweglichsten sind, schliesst sich zuerst. Hierdurch wird der eingehende Strom vollständig unterbrochen, und sonach können die Flügel des andern Paares sich nicht mehr schliessen. Ist alsdann, nachdem die Fluth schon hoch angewachsen ist, ein Versuch des in Wirksamkeit getretenen Thores brechen, so würde der starke hereinstürzende Strom augenblicklich die Flügel des ersten Thores fassen und schliessen, aber die Heftigkeit des Stosses würde sie auch gleichzeitig zertrümmern. Hierzu kommt noch, dass die Hoffnung, das zweite Thorpaar könne die Fluth abhalten, wenn das erste gebrochen ist, leicht Veranlassung giebt, dass man fallende Beschädigungen in den Thoren unbeachtet lässt. Aus diesen Gründen dürfte ein einzelnes Thorpaar, das unbedingt den vollen Wasserdruck abhalten muss, und welches deshalb auch immer in gutem Stande erhalten wird, zweckmässiger sein, als der doppelte Verschluss.

Es giebt noch einen andern Umstand, der gleichfalls gegen den doppelten Verschluss der Siele spricht. Wenn man nämlich bei einer in Aussicht stehenden hohen Fluth den Druck auf beide Thorpaare vertheilen will, so stellt man die äusseren Thore so, dass sie vom eingehenden Strome nicht gefasst werden. Es schliessen sich alsdann die inneren Thore, und wenn dieses geschehn ist, so entfernt man mittelst Hacken auch die äusseren an ihre Schlagschwelle an. Diese erleiden nun, wenigstens Anfangs, keinen Druck, der sie fest geschlossen hält. Sie schliessen und öffnen sich daher bei jeder anschlagenden Welle, je nachdem ein Wellenkamm oder ein Wellthal sich unmittelbar vor ihnen befindet. Dabei dringt fortwährend soviel Wasser ein, als dem inzwischen erfolgten Steigen der Fluth entspricht. Die Verhältnisse ändern sich daher nicht, und jede Welle wirft die Thore zu, während sie unmittelbar darauf sich wieder öffnen. Dieses Schlagen der Thore, das bei heftiger Wellenbewegung sehr stark und nachtheilig ist, setzt sich so lange

fort, bis endlich das Siel hoch vom Wasser bedeckt ist, und die Wirkung der Wellen in der größern Tiefe weniger stark wird.

Bei Sielen, die nicht überdeckt sind, ist dieser Uebelstand noch größer, weil das Zuschlagen bis zum höchsten Wasser nicht aufhört, und selbst während der ersten Ebbe noch fort dauert. Es leuchtet aber ein, daß in diesem Falle die innern Thore dem vollen Drucke ausgesetzt bleiben, und von den äußern gar nicht unterstützt werden. Bei dem 1846 in der Herrschaft Varel erbauten offenen Siele zeigte sich dieses Schlagen der Thore in so großem Maasse, daß für die äußern Thore bei heftigen Winden augenscheinliche Gefahr eintrat, und man sich gezwungen sah, den Wasserstand zwischen beiden Thorpaaren dadurch zu senken, daß man in den innern Thoren eine Menge Bohrlöcher anbrachte, durch welche das Seewasser in das Binnenland abfloß. Hierdurch erzeugte sich bald ein starker Druck gegen die äußern Thore, der das Aufgehen derselben verhinderte. Bei Schiffsschleusen, die dem Wellenschlage ausgesetzt sind, stellt sich der Druck gegen die äußern Thore sehr schnell ein, wenn man die Schütze der innern Thore öffnet, und dadurch den Wasserstand in der Kammer etwas senkt. Alsdann bleiben die äußern Thore fest geschlossen, wenn auch die Schütze wieder herabgelassen werden.

Die erwähnten Umstände, verbunden mit den bedeutenden Mehrkosten, welche sowol die Anlage, als Unterhaltung des zweiten Thorpaares nebst den zugehörigen Schlagschwellen, Thorkammern u. dgl. verursacht, gaben Veranlassung, daß man vor etwa 30 Jahren im Oldenburgischen von der frühern Methode abging, und die Siele nur mit einem Thorpaare, nämlich an der äußern Seite versah. Man fand sich hierzu um so mehr veranlaßt, als bei dieser Anordnung eine Instandsetzung der Thore noch sehr sicher erfolgen konnte, wenn dieselbe bei günstiger Witterung und nicht gerade zur Zeit der Springfluthen vorgenommen wurde. Es ist nämlich bei der hohen Lage der dortigen Marschen, und besonders wenn die Bewohner hiervon vorher benachrichtigt sind, ohne wesentlichen Nachtheil, wenn auch eine Fluth durch das geöffnete Siel in das Binnenland einfließt. Dadurch wird nur der Wasserstand in den Gräben gehoben, ohne daß die Wiesen inundirt werden. Der größte Uebelstand, der sich hierbei zeigt, beruht darin, daß die Gräber sich mit Seewasser anfüllen, doch kann man dasselbe von den klei-

Wasserläufen absperren, welche die Weiden durchschneiden und grenzen, und sonach findet das Vieh, der eintretenden Fluth ohn-
achtet, in diesen noch süßes Wasser. Längere Zeiten hindurch
sollen die Siele indessen nicht geöffnet bleiben, und jedenfalls müs-
sen beim zweiten niedrigen Wasser die Thore wieder eingehängt sein.

Die Ansicht, daß das zweite Thorpaar entbehrlich sei, die vor-
her von dem damaligen Deichgräfen Burmester ausging und
vertheidigt wurde, hat indessen später Widerspruch gefunden, und
gegenwärtig ist man auch davon zurückgekommen, indem man wieder
die Siele mit doppeltem Thorverschuß, wie zu Hunrichs Zeiten er-
hielt. Manche Erfahrungen sollen den Nutzen dieser ältern Einrich-
tungen herausgestellt haben, und bei geregelter Aufsicht und Be-
handlung der Siele, deren jedes unter einem besonderen Wärter
steht, lassen die oben erwähnten Uebelstände sich auch leicht um-
kehren. Das eine Thorpaar, und gemeinlich das innere, wird jedes-
mal festgestellt, so daß es sich nicht von selbst schließt, die Wirk-
samkeit des Sieles beruht also in gewöhnlichen Fällen allein auf den
äußern Thoren. Bei hohen Fluthen dagegen schließt der Wärter
auch die innern Thore und vertheilt dadurch den Wasserdruck auf
beide.

Die einfachsten Siele sind die sogenannten Pumpsiele, die
bei mäßiger Weite und Höhe nur aus hölzernen Rinnen bestehn,
die an der äußern Seite durch eine Klappe geschlossen werden.
Fig. 36 zeigt ein solches in dem Längendurchschnitte und in der
Ansicht von vorn. Zuweilen sind sie noch einfacher construirt, und
bestehn nur aus hölzernen Röhren, oder aus solchen Rinnen, die
ohne Rahmen, aus vier Bohlen zusammengesetzt sind. In diesem
alle heißen sie Sichter. Die Anwendung gusseiserner Röhren
würde für diesen Zweck auch vortheilhaft sein, weil sich dabei ein
besonders dichter Schluß leicht darstellen läßt, doch müßte eine
Art der Zusammenstellung gewählt werden, wobei eine Durchbie-
gung möglich bliebe, ohne die Wasserdichtigkeit der Fugen aufzu-
heben.

Die Figur stellt ein Pumpsiel der größten Art dar. Seine
Construction bedarf keiner nähern Beschreibung. Es ruht nicht auf
Pfeilern, sondern nur auf zwei Schwellen, welche an der Senkung
des Erdreiches Theil nehmen, und durchbiegen, falls der Untergrund
unter der Last des Deiches ausweichen sollte. Der äußere Theil

oder das Vorsiel ist mit einem Bohlenboden versehen, der von leichten Pfahlwerke getragen wird, zuweilen bringt man auch der Schwelle, gegen welche die Klappe sich lehnt, eine Span an, und diese Anordnung rechtfertigt sich in sofern, als diese wegen der geringen Höhe der Aufschüttung noch nicht stark stet wird, sich also nur mäßig setzt. Zwei hölzerne Flügel halten vor der Rinne die Erde zurück. Die Klappe, in sechsfacher Weise aus Bohlen zusammengefügt, hängt an zwei eisernen Bändern, und öffnet sich, sobald der Druck des Binnenwasser stärker wird, als der des äußern. Indem sie sich aber niemals erhebt, so wird die Oeffnung immer nur in geringem Maße und daher ist die Auswässerung nicht so kräftig, als die Weite der Rinne dieses erwarten läßt.

Wenn die lichte Weite der Siele nur 8 Fuß oder noch geringer beträgt, so pflegt man nicht leicht Stemmthore anzubringen, sondern dafür einfache Thore zu wählen, die sich an den Rahmen, die das Siegel begrenzt, flach anlegen. Ueber diese Einrichtung ist nichts hinzuzufügen, da die Construction von der der größern Siele nicht wesentlich unterscheidet.

Die Stemmthore der größten Siele werden oft wie die Schleusenthore zusammengesetzt. Jedes derselben besteht aus der Wendesäule, der Schlagsäule, den beiden Rahmen, mehreren Streben und der Bohlenverkleidung nebst den zugehörigen eisernen Bügeln, Winkelbändern u. dgl. Die Wendesäule ist unten mit einer Pfanne versehen, die auf einem Zapfen ruht, oben dagegen läuft sie in einen cylindrischen Hals aus, der von einem Halsbande umfaßt wird. Letzteres ist verschiedenartig eingerichtet, und die Eigenthümlichkeiten, die bei den Halsbändern der Schleusenthore vorkommen, wiederholen sich bei denen der Thore in den Sielen. Bei diesen muß für eine leichte Lösung und Wiederbefestigung des Halsbandes Sorge genommen werden, da man oft gezwungen ist, in der kurzen Zwischenzeit, während die Strömung im Siele umsetzt, ein schadhaftes Halsband herauszunehmen und dafür ein neues einzuhängen. Die Einrichtung, welche Fig. 37 zeigt, wiederholt sich vielfach. Dabei besteht das Halsband nur aus einem eisernen Bügel, der durch den oberen Rahmen hindurchgezogen, und am hintern Ende durch Schraubenmuttern oder, was noch bequemer ist, durch durchgesteckte

igt wird. Es ist dabei ohne Nachtheil, wenn durch die Bügel der Hals der Wendesäule auch nicht in unmittelbare Berührung mit dem obern Drempe gebracht wird, denn dieses geht schon sehr sicher, sobald der Wasserdruck sich einstellt. Der Bügel oder das Halsbald muß dagegen das Ausweichen des Thores in der Richtung der Drempe vollständig verhindern, weil sonst die beiden Thore, wenn sie geschlossen sind, sich nicht mehr aneinander anlehnen, und eine offene Fuge zwischen ihnen bleiben würde, durch welche das Hochwasser fortwährend einströmen könnte.

Die angedeutete Construction, welche mit der gewöhnlichen Thorschwelle übereinstimmt, beruht indessen auf einem gegenseitigen Stützen oder Streben der Thore, das hier nicht stattfindet, weil die Thore sich nicht nur unten an die Schlagschwelle, sondern auch oben an den Schlagrahm anlehnen. Die Durchbiegung kann daher nicht so stark werden, daß man, um dieselbe zu verhindern, die Wendesäulen gegen scharf anschließende Wendenischen stellen könnte, wobei die Riegel des Thores in Anspruch genommen würden. Wenn jedes Thor sowol oben, als unten, und zwar in der ganzen Breite unterstützt wird, so kommt es nur darauf an, die Durchbiegung in der halben Höhe zu verhindern, und dieses geschieht am einfachsten und sichersten, wenn das Thor aus senkrechten Bohlen oder Halbhölzern zusammengesetzt wird. Eine solche Verbindung wird auch vorzugsweise von Hunrichs*) empfohlen, und derselbe hat sie ausschließlich bei den Sielbauten in Oldenburg angewendet, wovon man jedoch später abgegangen war.

Fig. 38, *a* und *b* zeigt ein solches Thor in der äußern und der innern Ansicht. Die Bohlen, aus welchen es besteht, müssen hinreichend stark sein, um dem Wasserdrucke den nöthigen Widerstand leisten zu können, und hierbei kommt, wie bekannt, die Länge, auf welche sie frei liegen, wesentlich in Betracht. Für niedrige Siele genügt es, nur vierzöllige Bohlen zu verwenden, für höhere muß die Stärke dagegen mindestens 6 Zoll betragen. Den beiden innern Hölzern, welche die Stelle der Wendesäulen und Schlagrahmen vertreten, giebt man aber eine größere Stärke. Die Bohlen werden weder mit Spundung versehen, noch gefalzt, sondern nur stumpf zusammengesetzt. Dagegen bringt man in den Fugen höl-

*) Im bereits benannten Werke. I. Seite 321 ff.

zerne Dübel an, die in cylindrischen Zapfen bestehn, und in j Bohlen eingreifen. Zuweilen werden statt derselben auch Dübel benutzt. Zur Dichtung der Fugen wendet man getü Fließpapier an, und treibt die Hölzer fest zusammen, indem Dübel vorläufig schon einigen Zusammenhang darstellen. Um die Verbindung der einzelnen Bohlen dienen vorzugsweise Riegel mit der dazwischen eingesetzten Strebe. Jede Bohle ist jedem Riegel durch zwei Bolzen verbunden, und man pflegt nicht mit Schraubenmuttern zu versehn, die wegen der feuchten Umgebungen doch bald durch den Rost so festgehalten werden, daß sie nicht nachgezogen werden können, vielmehr werden hölzerne Splinte durch die Bolzen gesteckt, die sich gegen die Riegel lehnen und so oft es nöthig ist, nachgetrieben werden. Außerdem sind daran noch zwei eiserne, in das Holz eingelassene Bügel gebracht, die das Thor in seiner ganzen Breite sowol oben, als unten umfassen. Endlich wäre noch darauf aufmerksam zu machen, daß in Fig. 6 die in das Hirnholz eingelassene eiserne Federbar ist, welche mit ihrem aufwärts gebogenen Arme die Feder bildet, wogegen das Halsband sich lehnt. Hierdurch wird die Abnutzung des Halses der Wendesäule vorgebeugt.

Indem die Sielthore sowol bei der einen, wie bei der andern Construction einen dichten Schluß darstellen, ohne mit ihren Sielsäulen sich gegen einander zu stemmen, so ist es auch möglich, diese Stemmung ganz aufzugeben und die beiden Schlagseile in dieselbe Vertikal-Ebene zu legen. Dieses geschieht wenn das Schlaggebinde, wie bei hölzernen Sielen oft der Fall, durch einen Mittelständer in zwei Theile zerlegt wird. An dem Mittelständer schließt sich in solchem Falle eine Mittelwand an, die zur Unterstützung der Decke dient. Alsdann besteht das Schlagthor eigentlich aus zwei besondern Sielen, die unmittelbar neben einander liegen, und von denen jedes durch ein einfaches Thor geschützt wird.

Wenn dagegen der Mittelständer fehlt, also die beiden Sielthore sich unmittelbar berühren müssen, um den wasserdichten Schluß darzustellen, so würden sie nur in dem Falle in einer Vertikal-Ebene stehn dürfen, wenn auch ihre Drehungs-Achsen in derselben Ebene angebracht werden könnten. Diese Bedingung gründet sich darauf, daß bei der gewöhnlichen Lage der Achsen dasjenige Thor, das

ten geöffnet bleibt, sich nicht mehr an die Schlagschwellen anlehnen kann, vielmehr durch das bereits geschlossene Thor hieran hindert wird. Wenn man nämlich von der Drehungs-Achse die Perpendikellinie an die gegenüberstehende schmale Seite des Thores zieht, ist dieser zugleich der Abstand von dem bereits geschlossenen Thore. Die Entfernung der Achse von der innern Kante der Schlagsäule ist etwas länger, als die Hypotenuse des rechtwinkligen Dreiecks, und findet diese Kante bei der Drehung des Thores nicht mehr den nöthigen freien Raum, und kann sich daher nur an das bereits geschlossene Thor anlehnen. Vor den Schwellen bleibt also eine kleine Fuge offen, durch welche das Wasser bei steigender Fluth in das Siel eindringt. Auch in dem Falle, daß beide Thore gleiche Beweglichkeit haben, und gleichzeitig sich schliessen, stoßen schon bei der Berührung der Schwellen die beiden innern Kanten der Schlagsäulen zusammen und stemmen sich gegeneinander, wodurch derselbe Uebelstand veranlaßt wird, der wegen der Heftigkeit der auf- und abwärts gerichteten Wasserstrahlen für die Siele sehr gefährlich sein würde. Die obige Bedingung, daß die Drehungs-Achsen auf der Ebene der Schlagschwelle, oder vielleicht noch über diese hinaus versetzt werden müssen, ist schwer zu erfüllen, weil alsdann kröpfte eiserne Achsen angewendet werden müßten und die ganze Construction ihre Einfachheit verlieren würde.

Man vermeidet dieses, indem man die beiden Schlagschwellen in sehr stumpfen Winkeln zusammenstoßen läßt, und zwar ist derselbe viel stumpfer, als bei den Drempein der gewöhnlichen Schiffschwellen. Das erwähnte gegenseitige Klemmen der Thore wird durch die üblichen Dimensionen derselben schon vermieden, wenn in dem gleichschenkligen Dreiecke, welches die Schwellen bilden, die Höhe dem sechszehnten Theile der Basis gleich ist. Man pflegt indessen, um ganz sicher zu sein, ein etwas größeres Verhältniß annehmen, und gewöhnlich mißt die Höhe den zwölften bis achten Theil der Basis.

In den Niederländischen Sielen, besonders in denjenigen, die größere Oeffnungen haben, pflegen die Thore wie Schleusenthore zusammengesetzt zu sein. Hierbei verdient eine eigenthümliche Einrichtung des obern Schlaggebindes noch erwähnt zu werden, die in Fig. 40 dargestellt. Bei Schärdamm in der Nähe von Hoorn in Nordholland befindet sich ein Siel, das zugleich als Schiffsschleuse dient,

und dessen Thore über den höchsten Wasserstand herüberrei-
 Die Schiffe können indessen nicht mit stehenden Masten hind-
 gehn, sondern diese müssen wegen der festen Brücke, die auf
 Deiche erbaut ist, niedergelegt werden. Von diesem Umstand
 man Gebrauch gemacht, um die Schlagsäulen der äussern T-
 wenn letztere geschlossen sind, noch im obern Theile zu untersti-
 Vor der Brücke und in Verbindung mit derselben befindet sich
 lich die in der Figur gezeichnete Verstrebung, die der gewi-
 chen Zusammensetzung der Schlagschwellen nicht unähnlich ist
 aber dadurch von dieser unterscheidet, dass die Streben nicht
 gleich die Schwellen sind, an welche sich die Thore anlehnen,
 mehr geschieht dieses nur gegen den Kopf des Binders. Die
 dieses Siels misst etwa 22 Fufs.

In Betreff der Befestigung der Thore ist noch der Aufh-
 zu erwähnen, gegen welchen das geöffnete Thor sich lehnt,
 es sich von selbst sogleich schliessen soll, wie die Strömung in
 Siel tritt. Fig. 37 und 39 zeigen diese Vorrichtung. An einer
 rechten eisernen Achse befindet sich ein horizontaler Arm, der
 einem Knopfe versehen, und durch eine Strebe unterstützt ist.
 gegen den Knopf lehnt sich das Thor, und damit der Aufhalter
 Stellung nicht ändert, so wird er seitwärts durch einen Hacke-
 halten. Wenn dagegen das Thor nach sehr starkem Regen
 im Frühjahre ganz zurückschlagen soll, um das Durchflussprofil
 zu beschränken; so wird der erwähnte Hacken gelöst und der
 halter flach an die Wand gedreht, worauf auch das Thor sich
 ständig öffnet, jedoch bei der nächsten Fluth durch den Wärt-
 schlossen werden muß, weil dieses nicht mehr durch die Strö-
 geschehn kann. Dieses Zurückdrehn der Aufhalter nennt man
 Aufsperrn der Thore.

Was die Anordnung und Construction der Siel-
 trifft; so verdienen ohne Zweifel die im Oldenburgischen gesa-
 ten Erfahrungen und gewählten Einrichtungen vorzugsweise Be-
 sichtigung, wo wegen der Höhe der Fluthen eine grosse Vorsicht
 wendig ist, und man seit hundert Jahren diesem Gegenstande
 besondere Aufmerksamkeit gewidmet hat. Der Sielbau ist bis
 heutigen Tage noch nicht gründlicher behandelt worden, als
 bereits im vorigen Jahrhunderte durch den Deichgräf Hunric
 Oldenburg geschehn ist. Das bereits angeführte Werk dess

so wichtiger, als der Verfasser den Gegenstand aus Erfahrung genau kannte, und eine Menge Siele, die er erbaut hat, noch gegenwärtig und sind fortdauernd in Wirksamkeit. Ich wird es sich rechtfertigen, wenn bei Beschreibung dieser Siele zunächst diejenigen Anordnungen bezeichnet und erörtert werden, welche Hunrichs empfohlen hat. Die Mittheilung anderer Methoden und Einrichtungen soll demnächst folgen.

Unter Siel versteht man eigentlich nicht den ganzen Bau, sondern nur denjenigen Theil, der mit einer Decke versehen und mit Erde überschüttet ist. Zu demselben gehören jedenfalls die Thore und Schlaggebinden. Die offenen Theile der Rinne, oder die Seitenwände oder Flügelmauern nebst den dazwischen befindlichen Böden heißen Vorsiele. Das äussere Vorsiel ist auswärts, und das innere landwärts gekehrt. Das eigentliche Siel zerfällt wie ein Siel in zwei oder drei Theile. Das Hauptsiel, das man gern unter die Krone des Deiches legt, oder doch wenigstens so, daß es die ganze Länge nach von einer hohen Erdschüttung überdeckt wird, umfaßt den zwischen beiden Thorpaaren befindlichen Raum. Das äussere Siel ist der Theil des Sieles, der seewärts vor den äußeren Thoren liegt, und das innere Siel landwärts vor den inneren Thoren. Das in Fig. 39 dargestellte Siel, das im Holsteinischen unter Woltman's Leitung ausgeführt wurde, hat sonach weder ein äussere Siel, noch Hauptsiel, sondern besteht eigentlich nur aus einem innern Siele. Das äussere Siel fehlt jedesmal, so oft das vordere Thorpaar an der äussern Seite des Sieles angebracht ist, und die Thore desselben in das äussere Vorsiel treten. Diese Einrichtung führt zwar den grossen Vorzug, daß man das Spiel der Thore leichter bequem beobachten und dieselben, so oft es nöthig ist, leicht ausbessern kann, sie darf indessen nicht gewählt werden, wenn die Decke des Sieles nicht vollständig gesichert erscheint, und ein Durchbruch des Wassers durch dieselbe zu besorgen ist. Hiernach kommt bei denjenigen Sielen, die nur mit Bohlendecken versehen sind, das vordere Thorpaar weiter zurückgesetzt oder ein äusseres Siel angebracht zu werden.

Die hölzernen Siele zerfallen in zwei Classen, nämlich in Ständer- und Balken-Siele. Fig. 41, a, b und c zeigt ein Ständer-Siel in Grundrisse, so wie auch im Längen- und im Querdurchschnitte. Die Thore liegen bei demselben nach Hunrichs Vorschrift jedesmal

im Innern, weil die Decke nur durch einen Bohlenbelag
wird. Diese Siele werden gemeinhin nicht auf einen Pfahl
stellt, doch pflegt man unter den Schlagschwellen schwache
wände anzubringen, die indessen nicht so fest gerammt sin
sie das Sacken des ganzen Siele verändern könnten. An d
ßern Enden der Vorsiele und namentlich des äußern Vorsie
finden sich außerdem noch zwei Quer-Standwände oder
stens eine.

Der Boden, so wie die Decke und die Seitenwände dieselben sind nur durch Bohlen gedichtet, und da rings umher bei Wasserstande der Druck von außen nach innen gerichtet müssen in geringem Abstände Rahmen von Balkenholz eingelegt werden, wogegen die Bohlen sich lehnen. Die Abstände der Rahmen, die man Gebinde oder Joche nennt, betragen bei kleineren Sieden nur 2 Fuß von Mitte zu Mitte, und indem sie nach außen und seitwärts vortreten, so darf man die lichte Weite der Höhe des Siedes nicht nach den Bohlenwänden, sondern nach den inneren Flächen dieser Gebinde bestimmen. Die Bohlen, welche den Boden bilden sollen, gehörig verlegen, und dichten zu können, müssen Querbalken darunter gesetzt werden, und damit diese wieder ein sicheres Lager erhalten, muß man über den gehörig geebneten und festgerammten Boden der Grube zunächst zwei Schwellen, die gewöhnlich noch auf Unterlagern ruhen. Die weitere Construction ergibt sich mit zunehmender Vollständigkeit aus den Figuren, und es ist daher noch einige Umstände aufmerksam zu machen.

[illegible]

mehr die Ausbildung von Wasseradern in der Erdschüttung vermeiden will, die nach und nach in bedenklicher Weise sich erweitern und sogar den Bruch des Deiches veranlassen können, wenn nicht bei Zeiten den Schaden wieder herstellt. Die Erkennung der Quellen ist bei dem Mangel an Licht im Innern des Sieles leicht, und man ist immer geneigt, das Eindringen des Seewassers der Undichtigkeit der Thore zuzuschreiben, die allerdings häufigsten hierzu Veranlassung giebt. Man darf indessen nicht verlässen, sobald das Siele zur Zeit des Hochwassers sich undichtet, dasselbe beim Scheine von hellbrennenden Lichtern oder Laternen genau zu untersuchen, und wenn man im Innern, sei es am Boden, oder der Decke, oder den Seitenwänden Stellen entdeckt, durch welche Wasser hineinfließt, die also auf freie Wasserläufe im Deiche schließen lassen, diese durch eingetriebenes Werg kleunigst wieder zu dichten.

Die erwähnten Gebinde werden, wie Fig. 41 *b* und *c* zeigen, auch durch Bänder verstärkt, welche vorzugsweise das Verziehen und das Ueberweichen des Sieles nach einer Seite verhindern sollen. Außerdem dienen sie aber auch zur Unterstützung der Deckbalken. In der Nähe der Thore muß man sie fortlassen, weil sie das Aufgehn derselben verhindern und zugleich das Durchflußprofil, das hier schon stark beschränkt ist, noch mehr beengen würden. Außerdem ist zu bemerken, daß man die obern und untern Rahmen der Gebinde an den Seiten etwas einschneidet, damit die Stiele oder Pfähle sich an Brüstungen lehnen, und nicht allein durch die Zapfen gegen das Verschieben gesichert werden.

An denjenigen Stellen, wo die Thore sich befinden, sind statt der gewöhnlichen Gebinde stärkere angebracht, die man Schlaggebinde nennt. In ihrer Zusammensetzung sind sie den so eben beschriebenen gleich, nur greifen die Verbandstücke mit doppelten Lapfen in einander, und die Bänder fehlen auch hier, weil dadurch das Profil noch mehr verengt werden würde. Der Bohlenbelag setzt sich rings um diese Gebinde in gleicher Art fort, wie um die anderen. Die größere Holzstärke tritt sonach an der innern Seite vor und bildet den nöthigen Raum zum Anschlag der Thore. In die beiden Seitenstiele werden die Wendenischen eingeschnitten, und in dem obern und untern Rahme befinden sich die unter einem sehr stumpfen Winkel zusammenstoßenden Flächen, gegen welche die

Thore sich lehnen. Man muß zu den letzten Verbandstücken hochkantiges Holz nehmen, daß nicht nur der Anschlag für Thore, sondern auch der nöthige Spielraum zwischen diesen und den obern und untern Rahmen der nächsten Gebinde sich darstellt. Zur Unterstützung des Schlaggebindes dienen endlich, wie die Figuren zeigen, noch zwei starke Streben, die an die nächsten Seiten gebolt und auf die vierte Schwelle aufgeklaut sind.

Man könnte, ohne die Wirksamkeit des Sieles wesentlich zu schwächen, dem Binnensiele geringere Breite und Höhe geben, und die Gebinde so abmessen, daß deren lichte Weite und Höhe gleich oder nahe mit der des Schlaggebindes übereinstimmt. Diese Anordnung würde sich allerdings insofern rechtfertigen, als die Thorkammer schon in gleicher Art das Siele verengt. Nichts desto weniger würde hierdurch doch immer der Zufluß etwas erschwert werden, auch die ganze Construction ihre Einfachheit verlieren. Dazu käme noch ein andrer Uebelstand. Die Halsbänder bestehen nämlich in Bügeln, welche durch den Rahm des Schlaggebindes gesteckt und an dessen hinterer Seite durch eingezogene Splinte gehalten werden. Bei der angedeuteten Verengung und Erniedrigung des Binnensieles würde man zu diesen Splinten nicht gelangen, und daher die Thore nicht leicht ausheben und wieder einhängen können, so oft deren Instandsetzung erforderlich ist.

Daß das Siele zu beiden Seiten und eben so auch oben mit fettem Thon umgeben und derselbe fest angestampft werden muß, um jedes Durchdringen von Wasseradern möglichst zu verhindern, bedarf kaum der Erwähnung. Auffallend ist es indessen hier, daß Hunrichs empfiehlt, man solle die Erde nicht unmittelbar gegen das Holz schütten, sondern eine dünne Lage Haidekraut oder Torf dazwischen einbringen, weil alsdann das Holz nicht so leicht fault. Obwohl die benannten vegetabilischen Stoffe nicht leicht Fäulniß übergehen, und daher die Bildung des Schwammes weitstens nicht befördern, so ist doch von der reinen Thonerde derselbe Erfolg und zwar noch vollständiger und sicherer zu erwarten. Es darf indessen nicht unbeachtet lassen, daß die Klaierde, aus der Watte und Groden an der Oldenburgischen Meeresküste sich bildet, keineswegs reine Thonerde ist, sondern dieselbe auch vegetabilische und animalische Bestandtheile enthält, die allerdings in nachtheiliger Weise wirken können. Am meisten ist das Faulen des Ho-

immer an denjenigen Stellen zu besorgen, wo zwei Verbandstücke sich berühren, und die Fugen mit stehendem Wasser angefüllt bleiben. Durch sorgfältigen Theeranstrich sucht man diesem Uebelstande zu begegnen, und der Theer dient alsdann zugleich zur Darstellung der erforderlichen Wasser-Dichtigkeit der Bekleidung. Zu dem letzten Zwecke wird zuweilen auch eine feine elastische Zwischenlage namentlich von gehacktem Moose, das man auf den Theer streut, eingebracht. Vorzugsweise hängt der dichte Schluß der Fugen vom scharfen Zusammentreiben der Bohlen ab, wofür also besonders gesorgt werden muß.

Damit die angestampfte Erde nicht etwa Höhlungen bilde, indem sie am Herabsinken gehindert wird, so dürfen die Rahmstücke der Gebinde auswärts nicht vor die Bohlenwand vortreten, und die Schwellen reichen, wie Fig. 41 c zeigt, auch nur so weit über die letztere hinaus, als die sichere Aufstellung der Stiele dieses fordert.

Ueber die Vorsiele ist zu erwähnen, daß man bei denselben den Pfahlrost nicht füglich entbehren kann, weil sonst der Boden nicht die nöthige Haltbarkeit haben würde, doch pflegt man nicht unter alle Kreuzungen der Lang- und Querschwellen Pfähle zu stellen, vielmehr geschieht dieses nur etwa unter der Hälfte derselben. Die Seitenwände der Vorsiele bestehn aus gewöhnlichen Bohlwerken, die entweder durch Erdanker gehalten, oder durch Spannbalken gegen einander gestützt werden. Letzteres ist dauerhafter und einfacher; dabei tritt aber der Uebelstand ein, daß die Schiffe, die bei Hochwasser ankommen, nicht sogleich in das Vorsiel einlaufen und darin den Eintritt des niedrigen Wasserstandes abwarten können, vielmehr schon vorher die Masten niederlegen und so lange außerhalb bleiben müssen, bis sie unter den Spannbalken den nöthigen freien Raum zum Durchgange finden. Diese Spannbalken sind außerdem noch der Gefahr ausgesetzt, daß sie bei stark bewegtem Wasser von den Wellen aufwärts gestossen und ausgehoben werden. Um dieses zu verhindern, werden sie oft mit leichten Rosten überdeckt, welche durch große Feldsteine beschwert werden. In diesem Falle tragen sie zur Mäßigung des Wellenschlages bei, und das Vorsiel und die Thore sind solchem weniger ausgesetzt.

Daß auf der Landseite, also im innern Vorsiele, noch ein Schutz angebracht wird, um das zu tiefe Abfließen des Binnenwassers zu

verhindern, ist bereits erwähnt worden. Dieses Schütz ist auch bei Reparaturen am Siele von großer Wichtigkeit, weil letzteres bei niedrigen Ebben leicht trocken gelegt werden kann, sobald man den Zufluß von der Binnenseite absperrt.

Die Einrichtung der Balkensiele ergibt sich aus Fig. 42 *a*, *b* und *c*, nämlich *a* zeigt den Grundriß, *b* den Durchschnitt durch die Mittellinie und *c* den Querschnitt. Pfahlroste kommen auch bei diesen Sielen gewöhnlich nicht vor, während nur die Schlagschwellen mit schwachen Spundwänden versehen sind. Sowol die Seiten, als der Boden und die Decke des Sieles bestehn aus Balkenlagen, welche im Innern ebene Flächen bilden, an denen das Wasser nach der Ansicht von Hunrichs weit weniger Widerstand erfährt, als in den Ständersielen. Hunrichs meint daher, daß bei gleichem Querschnitte und unter übrigens gleichen Umständen ein Balkensiel wirksamer sei. Die Balken liegen überall nur stumpf an einander, doch sind sie in den Berührungsflächen sorgfältig beschlagen und werden scharf zusammengetrieben, um einen dichten Schluß darzustellen. Außerdem pflegt man namentlich in den Seitenwänden zwischen den einzelnen Gängen noch eine Verbindung durch eiserne Dübel oder kurze Bolzen darzustellen, welche in je zwei einander berührende Balken einige Zoll tief eingreifen. Die Balken, welche den Boden und die Decke des Sieles bilden, sind nur so lang, als letzteres breit ist, Stöße kommen daher in ihnen nicht vor. Dagegen sind solche in den Seitenwänden nicht zu vermeiden, und es darf kaum erwähnt werden, daß sie gehörig abwechseln und durch Bolzen befestigt werden müssen.

Was die Ausführung betrifft, so werden auf zwei Schwellen die Bodenbalken verlegt, nachdem der Raum darunter vollständig ausgefüllt und geebnet ist. Die Schwelle des Schlaggebindes steht soweit über den andern Schwellen vor, daß der nöthige Raum zum Anschlagen der Thore und der freie Spielraum unter den letzteren sich bildet. In gleicher Art springt das Schlaggebinde auch vor die Seitenwände und die Decke vor. Die Seitenwände werden einige Zolle tief in die Bodenbalken eingelassen, damit sie nicht durch den Druck der Erde und des Wassers hineingeschoben werden, und in gleicher Weise greifen sie auch in die Deckbalken ein. Außerdem wird für ihre Befestigung noch in andrer Art gesorgt. Sie greifen nämlich mit ihrer halben Stärke, wie Fig. 42 *a* zeigt, in die

Schlaggebinde ein. Dabei ist zu bemerken, daß in den Balkensielen die äußern Thore unmittelbar am Vorsiele zu stehn pflegen, und daß ein drittes starkes Gebinde für das Schütz oder auch wohl zum Einsetzen von Dambalken sich neben dem innern Vorsiele befindet. Sonach greifen die in Rede stehenden Balkenwände jedesmal mit ihren Enden etwa 4 Zoll tief in die starken Stiele der Schlaggebinde, und überdies sind auswärts noch besondere Stiele angebracht, die sich gegen die obere und untere Balkenlage lehnen, und von diesen gehalten werden. An diese Stiele ist ein Balken um den andern mittelst Durchsteckbolzen befestigt. Die Köpfe der Bolzen befinden sich an der äußern Seite, während sie im Innern durch Splinte angezogen werden, die sich an eiserne Scheiben lehnen. Die Schlaggebinde werden auch hier eben so wie bei Ständer-Sielen durch Streben unterstützt, und bei weiten Sielen geschieht es auch häufig, daß man Mittelwände anbringt, um das Durchbiegen der obern Balkenlagen zu verhindern. Diese Vorsicht ist um so wichtiger, als die Kopfbänder sich hier nicht anbringen lassen. Noch muß erwähnt werden, daß die Balken nicht aus starkem Bauholze bestehn, sondern selbst bei weiten Dimensionen der Siele nur 8 bis 9 Zoll Stärke zu haben pflegen. Auch kommt es gar nicht darauf an, ob sie waldkantig sind, wenn sie sich nur in hinreichend breiten Flächen berühren, um einen dichten Schluß darzustellen. Zu dem letzten Zwecke werden sie zuweilen sorgfältig behobelt, vortheilhafter ist es aber, nachdem sie schon ziemlich genau bearbeitet sind, jede Fuge mit einer feinen Säge aufzuschneiden, wodurch die Flächen, die sich später berühren sollen, sehr übereinstimmende Formen erhalten. Vor dem Verlegen werden die Balken mit Theer überzogen, und während derselbe noch naß ist, streut man auf die Flächen, welche die Stoßfugen bilden, fein gehackt trocknes Moos auf, von dem nur eine dünne und ziemlich gleichmäßig vertheilte Lage am Theer hängen bleibt. Ein scharfes Zusammentreiben der Balken beim Anbolzen derselben ist endlich Haupt-Erforderniß.

Hunrichs äußert sich über die Vorzüge der Ständer- und Balken-Siele in der Art, daß die ersteren, so lange sie sich noch in gutem Stande befinden, eine größere Steifigkeit, als die letzteren besitzen, und deshalb nicht nur in geringerem Maasse unter der Last des Deiches der Länge nach durchbiegen, sondern auch vor

einer Form-Veränderung des Querschnittes weit mehr gesichert sind. Diese Vorzüge sind besonders von Bedeutung, wenn das Siel große Dimensionen hat, also zugleich zum Durchgange von Schiffen dient. Hiernach wird die Anwendung der Ständersiele in solchem Falle empfohlen, sowie auch bei wenig haltbarem Untergrunde, wenn man das Siel nicht auf einen Pfahlrost stellen will. Letzterer muß unter übrigens gleichen Umständen und bei gewisser Beschaffenheit des Bodens unter dem Balkensiele schon angewendet werden, während er unter dem Ständersiele noch fehlen darf.

In allen sonstigen Beziehungen hat das Balkensiel den Vorzug vor dem Ständersiele. Schon die Anlagekosten stellen sich für jenes merklich niedriger. Die Masse des Holzes, das in beiden verwendet wird, ist ziemlich dieselbe, wenn beide gleiche lichte Weite haben. Bei dem Balkensiele tritt aber der Vortheil ein, daß die Zusammensetzung viel einfacher ist, also die Arbeit weniger kostet, und sodann kann man bei diesem ohne Nachtheil auch schwächeres und waldkantiges Holz verwenden, während beim Ständersiele sowol die Verbandstücke, als die Bohlen, aus tadellosen und starken Stämmen geschnitten werden müssen, wobei man sich gewöhnlich sogar auf Eichenholz beschränkt. Hierzu kommt noch, daß die Unebenheiten der innern Wandflächen eines Ständersieles so starke Reibung veranlassen, daß, nach Hunrichs, in den nächsten Schichten von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fuß Breite gar keine Strömung eintritt. Derselbe fügt hinzu, daß ein Ständersiel von 14 bis 15 Fuß lichter Weite nicht mehr leistet, als ein Balkensiel von 12 Fuß Weite. Die Richtigkeit dieser Behauptung wird indessen nicht näher nachgewiesen und dürfte wohl mehr als zweifelhaft sein, vorausgesetzt, daß die lichte Weite der Ständersiele zwischen den Ständern gemessen wird.

In der Unterhaltung hat das Balkensiel unverkennbare Vorzüge vor dem Ständersiele. Je schwächer das Holz an sich ist, um so eher muß es bei eintretender Fäulniß erneuert werden. Die Bohlen sind daher weniger dauerhaft, als die Balken. Vorzugsweise treten die Beschädigungen aber in denjenigen Theilen der Wände ein, die am häufigsten benetzt und wieder-trocken werden. Das Einziehn neuer Bohlen im Ständersiele ist außerordentlich schwierig, und man muß sich bei Beschädigungen, die keine weite Ausdehnung haben, damit begnügen, daß man die schadhafte Stelle

innen verkleidet und ein neues Gebinde davor stellt. Man kann auch ein einzelnes Gebinde ausnehmen, und dadurch den Schaden etwas vollständiger beseitigen, worauf ein oder zwei neue Gebinde eingesetzt werden. Eine gründliche Wiederherstellung ist doch immer nur möglich, wenn der Deich abgegraben wird, so daß man von außen zur schadhaften Stelle gelangt. Bei Balkensielen verhält sich dieses anders. Sollte nämlich ein Balken maul sein, so kann man ihn durch Abspalten vollständig beseitigen, und einen neuen, der etwas keilförmig zugeschnitten ist, wieder eintreiben, auch mittelst der Bolzen an die dahinter angebrachten Ständer befestigen. Beschädigungen der Decke sind gleichfalls bei Balkensielen viel leichter auszubessern.

Später versuchte man im Oldenburgischen, die Construction der Ständer- und Balken-Siele so mit einander zu verbinden, als die Vorzüge beider vereinigt, und Bauwerke dargestellt wurden, die bei großer Solidität dennoch in denjenigen Theilen, die am meisten zu leiden pflegen, leicht erneuert werden konnten. Namentlich geschah dieses vor vierzig Jahren, als Burmester Deichgräfer. Fig. 43, a, b und c zeigt eine solche Anordnung im Grundriss, so wie im Längen- und Quer-Durchschnitte. In dieser Weise wurden die beiden Siele in den Mündungen der Wapel und Jade gebaut, von denen bereits die Rede war. Die hier gewählte Anordnung weicht auch noch in anderer Beziehung von den bisher beschriebenen ab. Zunächst ruht nämlich das ganze Siegel auf einem Pfahlrost, indem der Länge nach drei Pfahlreihen sich unter demselben hinziehen. Veranlassung dazu gab theils der Umstand, daß die Siele in die alte Balje oder Rille gestellt werden mußten, wo der Boden sehr lose und schlammig war, theils aber hatte man auch die Erfahrung gemacht, daß manche ältere Siele, die sich übrigens noch in brauchbarem Zustande befanden, wegen des Sinkens des Untergrundes stark durchgebogen und dadurch so schadhaft geworden waren, daß sie umgebaut werden mußten. Man war damals zu der Ueberzeugung gekommen, daß man auf dem gewöhnlichen Marschboden, der neu eingedeicht, also noch nicht vollständig comprimirt ist, überhaupt kein größeres Siegel ohne Pfahlrost bauen dürfe. Hiernach war keine Veranlassung, die Baustelle etwas seitwärts in festeren und höheren Boden zu verlegen, was leicht möglich gewesen wäre. Außerdem wick man auch in Beziehung auf die Thore

noch wesentlich von der älteren und bei grösseren Sielem ^{allge-}mein üblichen Anordnung ab, und versah das Siel nur mit einem Thorpaare, das in das äussere Vorsiel aufschlug. Die Gründe dafür sind bereits oben angegeben.

Der Boden dieses Sieles unterscheidet sich von dem früher beschriebenen dadurch, daß die Bohlen nur auf Querschwellen oder Zangen aufgenagelt sind. Sie können deshalb ohne Zweifel nicht so sicher dem Wasserdrucke widerstehn, der sie von unten trifft, aber dafür bietet die starke Spundwand unter dem Schlaggebände auch mehr Schutz gegen das Entstehn von Wasseradern, und insofern ein Pfahlrost angewendet wurde, so war der Untergrund auch mehr comprimirt. Durch kräftiges Abrammen der zwischen die Rostschwellen und Zangen angeschütteten Erde ist außerdem die Wasserdichtigkeit des Bodens noch vermehrt. Der Vorzug dieser Anordnung beruht darauf, daß man, falls einzelne Bohlen schadhafte werden, dieselben sehr leicht durch andre ersetzen kann. Diese Bohlen sind 5 Zoll stark, leisten also hinreichenden Widerstand, und auf ihre Befestigung wurde große Sorgfalt verwendet.

Die Seitenwände bestehn theils aus Balken und theils aus Ständern. Die letzten sind auswärts mit Bohlen bekleidet. Die Erfahrung hatte nämlich ergeben, daß die Ständer immer am meisten an denjenigen Stellen litten, die etwas über den gewöhnlichen Ebben sich befinden, weil hier der Wechsel der Benetzung und Austrocknung am häufigsten eintritt, und zur Zeit der warmen Witterung am nachtheiligsten ist. Man suchte sonach die Haltbarkeit der Ständer dadurch zu vermehren, daß man sie nicht bis zu dieser Tiefe herabreichen ließ. Die Balkenwände, auf denen sie aufstehn, leisten theils wegen ihrer grössern Stärke einen kräftigern Widerstand, theils aber können einzelne schadhafte Stellen darin auch leicht ausgeschlagen und durch frisches Holz ersetzt werden.

Vier Lagen Balken bilden den untern Theil jeder Seitenwand, und die unterste Lage ist einige Zoll tief in jede Zange eingelassen und lehnt sich außerdem gegen den Bohlenboden. Die Balken bestehn aus starkem Holze und greifen durch Spundungen in einander. Auf der obern Lage stehn nicht nur die Ständer der Gebinde, sondern auch die Bohlen auf, die sich an die Ständer lehnen. Die Gebinde oder Joche sind durch Bänder abgesteift, und durch drei Deckbalken mit einander verbunden. Indem die Ständer nichts

weniger sehr lose aufstehn, auch die darunter befindlichen durch den Seitendruck leicht vorgeschoben werden können, jedes Gebinde noch auswärts durch zwei Blind-Ständer unterstützt, die in die Köpfe jeder Zange eingelassen und mittelst der Bolzen mit den eigentlichen Ständern, so wie auch abwechselnd mit jedem zweiten Balken verbunden sind.

Das Vorsiel, welches die Figur gleichfalls darstellt, ist in der ähnlichen Weise angeordnet. Der Boden desselben ruht auf Pfählen, die jedoch nicht so nahe stehn, als die Grundbalken oder Ständer liegen, vielmehr ist von den erstern nur abwechselnd einer den andern durch drei Pfähle unterstützt. An der äußern Seite des Vorsieles befindet sich eine Spundwand. Die Seitenwände werden durch Ständer gestützt, die in den Grundbalken verzapft, und die Rahmen durch Spannriegel gegen einander verstrebt sind. Auf dem Boden des Schlaggebindes, welches zugleich das Siegel begrenzt, ist ein Geländer gestellt, das bei allen hölzernen Siegen vorzukommen pflegt, und gegen welches der Fuß des Deiches sich lehnt. Das innere Vorsiel ist sehr genau eben so wie das äußere angeordnet, ist nur kürzer, und wird durch niedrigere Wände eingeschlossen. Die Seitenwände sind aber nicht durch Spannbalken gegen einander verstrebt, sondern werden durch Erdanker gehalten, weil erstere den Durchgang der Schiffe verhindern würden. An das letzte Gebinde der innern Seite, welches wie das Schlaggebinde mit einer Spundwand versehen ist, und worin die Balkenlagen wieder verzapft sind, die Bohlen des Bodens befestigt sind, lehnt sich ein Schütz, das mit anhaltender Dürre eingesetzt wird, um das zu starke Abfließen des Binnenwassers zu verhindern.

Die so eben beschriebene Verbindung der Balken- und Ständer-Construction hat sich indessen nicht so vortheilhaft gezeigt, als man erwartete. Eines Theils gewährte sie nicht die Festigkeit der Außensiele, und andererseits waren auch die Reparaturen schwieriger auszuführen, als bei den Balkensielen. Man ist daher schon bald geraumer Zeit davon wieder zurückgekommen.

Um die ganze Anordnung und die Verbindung mit dem Deiche anschaulich zu machen, ist in Fig. 39 noch dasjenige Siegel dargestellt, welches nach Woltman's Angabe am rechten Ufer der untern Mündung erbaut ist. *a* zeigt den Längendurchschnitt, *b* den Grundriß, *c* den Querdurchschnitt und *d* die Ansicht von der Seeseite. Es

unterscheidet sich in mehrfacher Beziehung von der Construction, die Hunrichs empfohlen hatte. Seine Dimensionen sind nicht bedeutend, da es im Lichten nur 9 Fufs weit und 7 Fufs hoch ist. Der Boden ruht auf einem Pfahlroste, und das einzige Thorpaar befindet sich unmittelbar neben dem äufsern Vorsiele. Die Seitenwände des Siels bestehn aus starken Bohlen, welche an besonders eingerammte Pfähle genagelt sind. Letztere geben dem Siele eine grofse Steifigkeit, und verhindern sehr wirksam das Verziehn des Querprofiles, vermehren aber die Rammarbeiten wesentlich und erschweren die Reparaturen. Neben dem innern Vorsiele bemerkt man die Windevorrichtung zum Herablassen und Heben des Schützes.

Ueber den Bau massiver Siele ist wenig zu bemerken, da die Construction derselben im Allgemeinen sehr einfach ist. In den Niederlanden findet man sie häufig, und sogar häufiger, als hölzerne. Auch im Oldenburgischen kommen sie nicht selten vor. Mit der Beschreibung der letzteren soll wieder der Anfang gemacht werden.

Ob die massiven Siele aus Werkstücken, oder aus gebrannten Steinen erbaut werden, macht keinen wesentlichen Unterschied. Beide Arten des Materials sind sowol zu Hunrichs Zeiten, als auch später angewendet worden, dagegen verdient erwähnt zu werden, dafs auch diese Siele zuweilen ohne Pfahlroste erbaut sind, und alsdann bei dem Nachgeben des Untergrundes und der verschiedenartigen Belastung durch den Deich zu brechen pflegen. Die Trennung erfolgt indessen immer nach der Quere und sonach behält jeder einzelne Theil, obwohl er sich von den anstofsenden löst, dennoch in sich seinen Zusammenhang. Der Erfolg ist also kein andrer, als wenn man den überwölbten Canal ursprünglich schon aus einzelnen Stücken zusammengesetzt hätte, von denen ein jedes sowol dem Drucke von oben, als von den Seiten hinreichenden Widerstand leisten konnte. Namentlich sollen auch diejenigen Theile, worin die Thore sich befinden, bei dieser Trennung weder an Festigkeit noch an Dichtigkeit des Schlusses leiden, und sonach erfüllen diese Siele, wenn sie auch sehr auffallende Querrisse zeigen, dennoch ihren Zweck. Es darf kaum erwähnt werden, dafs man nichts desto weniger bei Neubauten solche Zufälligkeiten möglichst vermeiden mufs, weil die Gefahr sehr nahe liegt, dafs dieselben zu starken Durchquellungen Veranlassung geben, auch wohl die Trennungen neben die Wendenischen und Schlagschwellen treffen und alsdann

Beweglichkeit und den guten Schluß der Thore hindern könnten. Dies ist der Grund, daß in neuerer Zeit niemals ein massives Siele ohne Pfahlrost erbaut wird. Im Allgemeinen kann man diese nicht nur billigen, aber, wie bereits erwähnt worden, tritt als ein Uebelstand ein, daß der Deich eine sehr verschiedenartige Unterlage erhält. Derjenige Theil desselben, der auf dem Siele ruht, kann sich nur wenig setzen, der daneben befindliche drückt sich dagegen in den nachgebenden Untergrund tiefer ein. Hierdurch entsteht eine Trennung im Deiche selbst, welche sich durch seine ganze Breite erstreckt, und zu noch größeren Gefahren Veranlassung geben kann, als wenn das Siele mehrere Querbrüche erlitten hätte. Wenn man daher an einer Stelle, wo bisher noch kein Deich gelegen hat, also der Untergrund noch nicht comprimirt ist, ein massives Siele sicher fundiren will, so ist es dringend nöthig, die Fundamente so auszuwählen, daß sie auf recht festen Boden trifft, so daß unter der spätern Belastung wenigstens nicht stark eingedrückt wird.

Fig. 44 zeigt den vordern Theil eines auf Pfählen ruhenden massiven Sieles und zwar nach der Anordnung, die Hunrichs wiederholentlich gewählt und in seinem Werke beschrieben hat. Das vordere Thorpaar schlägt in das Vorsiele auf, und dieses ist in sofern auch unbedingt zulässig, als das Gewölbe unmittelbar dahinter hinreichend stark ist, um den Durchbruch des Wassers zu verhindern, falls der Fuß der Erdschüttung darüber fortgespült werden sollte. Dieses Gewölbe bildet, indem die Steine bis zum Schlußsteine immer weiter vortreten, den obern Drempel, an welchen die Thore anschlagen. Diese Einrichtung bietet keine Schwierigkeit, insofern, wie bereits erwähnt, die Stemmung unter einem sehr stumpfen Winkel erfolgt. Die äußere Stirn des Gewölbes trägt zugleich die starke Brustmauer, an welche der Fuß der Erdböschung sich anlehnt.

Die Bildung der Kammer für das innere Thorpaar bedingt augenscheinlich eine wesentliche Abweichung von der einfachen Construction des überwölbten Canales, wenn man nicht die lichte Weite und Höhe des letztern bedeutend beschränken und sowol die Widerlager, als auch das Gewölbe soweit vortreten lassen will, daß gegen beide der nöthige Anschlag für die Thore gewonnen wird. Hunrichs hat das sehr passende Auskunftsmittel angewendet, daß das Tonnengewölbe über der Thorkammer durch eine eingespannte

Kappe ersetzt. Sowol vor als hinter dieser Thorkammer sind Widerlager verstärkt, auch sind die anschließenden Gewölbe niedrigen Brustmauern versehen. Diese Brustmauern bilden Widerlager für die Kappe, und bis über die letztern reichen beiden Seitenmauern herauf, welche, wie der Grundriß Fig zeigt, gegen die Hauptmauern des Sieles etwas zurückspringen auf diese Art die Thor-Nischen darstellen.

Wesentlich verschieden hiervon und weit weniger zweckmäßig ist die Anordnung der Siele in den Niederlanden. Die äußern Thore derselben schlagen zwar auch gegen das Gewölbe des Sieles, dieses Gewölbe setzt sich aber in der ganzen Länge ohne Unterbrechung und in gleicher Höhe fort, es erhält nur über der Thorkammer eine etwas größere Spannweite, und indem die Widerlagermauern zu beiden Seiten zurücktreten, bilden sich die Thor-Nischen, die jedoch nicht entfernt die volle Höhe der Sielöffnungen benützen. Die innern Thore müssen hiernach viel niedriger gemacht werden, und sie sind häufig wie gewöhnliche Schleusenthore gerichtet und aufgehängt, und lehnen sich, wenn sie geschlossen nur an die untern Schlagschwellen an. In diesem Falle können sie nicht unmittelbar zur Abhaltung des Hochwassers benützt werden, sie dienen vielmehr nur zur Vertheilung des Wasserdrucks. Ihr Zweck beschränkt sich darauf, die äußern Thore zu unterstützen. Vielfach giebt man ihnen indessen auch obere Schlagschwellen, diese sind zwar hölzerne. Dieselben sind eben so wie die untern zusammengesetzt. Ihre Verbindung besteht, übereinstimmend mit den Thoren gewöhnlicher Schiffsschleusen, aus dem Mittelbalken, in den die beiden Schlagschwellen mit Zapfen und Versatzung eingelenkt sind, und diese werden noch durch einen kurzen Binder an den freistehenden Enden gegen den Mittelbalken gestützt. Der letztere wird an seinen Enden in den Seitenmauern oder Widerlagern unmittelbar unter dem Anfange des Gewölbes vermauert. Bei weiteren Erweiterungen hängt man ihn selbst, oder auch wohl zugleich den Binder noch an eiserne Zugstangen, die auf der obern Fläche des Gewölbes mit ihren breiten Köpfen auf Unterlage-Scheiben ruhen. Der Raum zwischen dem Mittelbalken und den Schlagschwellen wird demnächst durch Bohlenstücke geschlossen und gedichtet. Um auch die Oeffnung zwischen dem Mittelbalken und dem Gewölbe zu schließen, wird auf den Ersteren eine Mauer gestellt, die

glicht scharf an das Letztere anschliesst. In dieser Weise wird der Durchfluß des Wassers über den innern Thoren vollständig geregelt, und dieselben können allein einen hohen Wasserstand vom Festlande abhalten. Fig. 47 *b* und *c* lassen die Anordnung erkennen. Dieselbe wird in den Niederlanden vielfach gewählt, doch dürfte sie der oben beschriebenen wohl unbedingt nachstehn.

§. 19.

Die Entwässerung des Rheinlandes durch die Siele bei Catwijk.

Als Beispiel von Niederländischen Entwässerungs- und Sielanlagen neben der See wird eines der größten Werke dieser Art gewählt, welche jemals zur Ausführung gebracht sind. Dieses ist die Entwässerung des sogenannten Rheinlandes in der Provinz Südholland. Das Rheinland erstreckt sich von der Nordsee bis gegen Utrecht, und reicht im Süden bis nahe an die Maas und den Leck, wie im Norden stellenweise bis gegen das Y. Sein Flächeninhalt beträgt 123500 Bunders oder 22 Deutsche Quadratmeilen.

In frühern Zeiten wurde es durch den Rhein oder wenigstens durch einen Arm desselben durchströmt und dieser mündete ohnfern Leyden in die Nordsee. Die Aenderungen, welche im Laufe der Zeit der Rhein mit seinen Nebenarmen erfahren hat, sind bereits im zweiten Theile dieses Handbuches (§. 72) angedeutet. Das alte Bett des Rheins ist aber noch in seiner ganzen Länge bis an die Dünenkette, welche die Nordsee begrenzt, vorhanden, und wird theils für die Binnenschiffahrt und theils zur Entwässerung benutzt. Es beginnt bei Wijk bij Duurstede, wo eine Schiffsschleuse es von dem Leck trennt, welche die Einströmung des Wassers aus dem letzteren dauernd verhindert. Die sehr niedrige Lage des Rheinlandes macht diesen Abschluß nothwendig, selbst wenn es möglich gewesen wäre, die Mündung in die Nordsee zur Abführung großer Wassermassen hinreichend geöffnet zu erhalten. Von dem Leck bis Utrecht nennt man den alten Rheinlauf den Krummen Rhein, und weiterhin bei Leyden vorbei bis zum Dorfe Catwijk aan den Rhijn, den alten Rhein. Die letzte Strecke, die sich bis gegen die Dünen bei Catwijk aan Zee hinzieht, und so schmal ist, daß sie selbst für kleine Schiffahrt nicht benutzt werden kann, heißt endlich das Mallegat.

Die Mündung in die See war bis zum Anfange dieses Jahrhunderts vollständig gesperrt durch die Dünenkette, die obwohl stellenweise stark bedroht, sich doch ohne Unterbrechung von der Mündung der Maas bis zur nördlichsten Spitze von Nord-Holland eine 17 Meilen Länge hinzieht. Es fand sonach keine unmittelbare Entwässerung nach der Nordsee statt. Das Rheinland entwässerte damals zum geringsten Theile durch die Jjssel bei Gouda in die Maas, doch ist die Schleuse bei Gouda so enge und auch im Uebrigen sind die Verhältnisse hier so ungünstig, daß auf diesem Wege immer nur sehr wenig Wasser abgeführt werden konnte. Wichtig waren die vier Siele bei Spaarndam, nördlich von Haarlem, wozu zugewise wurde aber das Quell- und Regenwasser des Rheinlands in das Haarlemmer Meer abgeführt, und dieses hatte wieder durch die drei Siele bei Halfwege, zwischen Haarlem und Amsterdam einen Abfluß nach dem Y.

Die Ableitung des Wassers erfolgte daher auf einem übermäßig langen Umwege. Das Rheinland grenzt unmittelbar an die Nordsee, und dennoch wurde das Wasser durchschnittlich mehrere Meilen bis zum Harlemmer Meere, und aus diesem durch das Y in die Süder-See abgeführt. Dieser Uebelstand war um so nachtheiliger, als das Y bei gewöhnlichen Ebben nur etwa 14 Zoll unter die mittlere Fluthhöhe vor Amsterdam herabsinkt, wogegen die Nordsee bei Catwijk $2\frac{1}{2}$ Fuß unter die letztere bei gewöhnlichen Ebben sich senkt. Es war also nahe $1\frac{1}{2}$ Fuß an absolutem Gefälle verloren, und zugleich der Weg übermäßig verlängert, woher das relative Gefälle sich noch mehr verminderte. Außerdem kam noch der sehr ungünstige Umstand hinzu, daß bei nördlichen und in geringerem Maasse auch bei östlichen Winden das Wasser im Y von den Sielen bei Halfwege stark aufgetrieben, im Harlemmer Meere dagegen gesenkt wurde, woher beide alsdann gleiche Höhe hatten und oft Monate hindurch gar keine Entwässerung auf diesem Wege erfolgen konnte.

Unter diesen Verhältnissen lag der Gedanke sehr nahe, die alte Rheinmündung behufs der bessern Entwässerung dieser großen Landfläche wieder zu eröffnen. Schon im Jahre 1687 wurde dies vorgeschlagen und noch dringender wurde es durch Lulofs in der Mitte des vorigen Jahrhunderts empfohlen, der zu diesem Zweck Wasserstands-Beobachtungen machen ließ und zusammenstellte, u

h Nivellements verband, woraus sich der grofse Nutzen solcher
 ings augenfällig ergab. Die Ausführung unterblieb indessen da-
 a, weil man von den grofsen Kosten abgesehn, an dem Erfolge
 ifelte und noch mehr, weil man nicht den gröfsten Theil der
 men Provinz Holland der Gefahr eines Einbruches der Nordsee
 setzen wollte, indem seine Sicherheit allein auf der Festigkeit
 des Sieles beruhen würde.

Im Jahre 1802 veröffentlichte A. P. Twend ein Project zu sol-
 cher Canal- und Sielanlage, das einigermaafsen mit dem später aus-
 führten übereinstimmte. Dieses nahm so sehr die allgemeine Auf-
 merksamkeit in Anspruch, dafs der Vorstand des Deichverbandes
 in Rheinland auf den Rath von Brünings die Beurtheilung der
 Schrift dreien namhaften Ingenieuren, nämlich F. W. Conrad, A.
 Jansen Jansz. und S. Kros übertrug. Dieselben gaben am 2. April
 1803 ein Gutachten*) ab, dem sie zugleich ein etwas verändertes
 vollständiges Project nebst Kosten-Anschlag beifügten, und dessen
 Ausführung dringend empfahlen. Obwohl auch damals wieder manche
 Bedenken laut erhoben, und namentlich auf die grofse Gefahr für
 die ganze Niederung hingewiesen wurde, wenn man den natürlichen,
 der sichern Schutz der Dünen an einer Stelle unterbrechen und
 die Sicherheit des Landes von einem Siele an offener See abhängig
 machen wollte, so überzeugte man sich doch andererseits, dafs der
 stets zunehmenden Versumpfung endlich eine Grenze gesetzt wer-
 den müsse. Das Project wurde genehmigt und in den Jahren 1804
 bis 1807 mit einigen Abänderungen ausgeführt.

Fig. 45 zeigt die Situation bei Catwijk, es ist jedoch in dieser
 Zeichnung die gegenwärtige Anlage mit den Verbesserungen, die
 viel später angebracht wurden, dargestellt. Ursprünglich wurde der
 Canal nur mit dem Rhijn in der Nähe von Catwijk a. d. R. in Ver-
 bindung gesetzt und dieser Canal selbst, so wie auch seine Schleu-
 sen erhielten geringere Dimensionen.

Twend hatte vorgeschlagen, auch den letzten Theil des alten
 Rheinlaufes, nämlich das Mallegat zum Canale zu benutzen. Die
 Commission widerrieth dieses indessen, insofern zunächst die Breite

*) Rapport wegens het gedaan Onderzoek omtrent eene Uitwatering te Cat-
 wijk op Zee. Eine grofse Anzahl Zeichnungen, so wie auch vier Beilagen wa-
 ren demselben hinzugefügt.

und Tiefe desselben so geringe waren, daß nur eine unbedeutende Ermäßigung der Erdarbeiten dabei in Aussicht stand. Sodann merkte sie, daß das Terrain daneben besser bebaut und daher bei Ankaufe viel theurer wäre, und endlich machte sie auf die große Schwierigkeit und selbst auf die Gefahr für das Dorf aufmerksam, wenn man den Canal durch dieses hindurch führen wollte. Sie wählte daher die Mündung an dieselbe Stelle, wo sie auch gegenwärtig sich befindet.

Die Commission schlug jedoch vor, den Canal von der See nur bis zu dem Punkte zu führen, wo das Mallegat sich mit dem alten Rhein verbindet, und von hier ab den letzteren schon im Zuleitungs-Graben zu benutzen. Hiervon wurde indessen bei der Ausführung abgewichen und der Canal ist bis oberhalb Catwijk d. R., also etwa 300 Ruthen weiter aufwärts geführt, wo er besser an den Rheinlauf anschließt, und wodurch zugleich die Gefahr für das benannte Dorf abgewendet ist, welches sonst an dem stark concaven Ufer bei heftiger Entwässerung sehr bedroht worden würde. Dieser Canal erhielt ursprünglich in dem Horizonte der Amsterdamer Peil (gewöhnlich *AP* bezeichnet) oder in der ordinären Fluthhöhe vor Amsterdam nur die Breite von 20 Ellen oder 63 Fufs 9 Zoll.

Um einem Durchbruche der See vorzubeugen, wurden zwei überaus feste Siele, nämlich *A* und *B* hinter einander erbaut, von denen jedes allein bei den höchsten Sturmfluthen volle Sicherheit bot.

Sodann war noch das Bedenken erhoben, daß die Nordsee von Jahr zu Jahr weiter in das Land dringe, indem die Dünen immer zurückweichen, und sonach werde in kurzer Zeit das vordere Strand frei am Strande liegen, und wenn es alsdann auch noch zu halten sein sollte, so werde das Hochwasser zur Seite es umfließen und in das Land eindringen. Dieser Umstand forderte allerdings eine nähere Untersuchung. Es ergab sich durch Zusammenstellung der sichersten Nachrichten, daß in dem Zeitraume von 1571 bis 1708 die See an dieser Stelle um 300 Fufs, ebensoviel auch von 1708 bis 1766, von 1766 dagegen bis 1802 nur um 54 Fufs vorgedrungen sei. Das Ufer wich also in diesen drei Perioden durchschnittlich um 2,2 Fufs, 5,2 Fufs und 1,5 Fufs zurück. Die Commission macht darauf aufmerksam, daß diese Resultate keine Besorgniß begründen könnten, in sofern an andern Stellen, die einem viel stärkeren

riffe ausgesetzt wären, demselben sehr sicher durch Buhnenan-
 n eine Grenze gesetzt sei. Die beiden Werke, welche zur Seite
 Canales in die See treten, würden ohnfehlbar den Strand hin-
 end schützen und sein weiteres Zurückweichen verhindern.
 Ansicht ist vollständig durch die Erfahrung bestätigt, und der
 and hat sich sogar auf der südlichen Seite seewärts ausgedehnt,
 sind die Dünen nicht zurückgewichen, obwohl auf ihre Erhal-
 g wenig Sorge verwendet wird. Es ist nämlich sogar gestattet,
 beliebig zu betreten, und die Einwohner von Leyden machen
 von, wie ich in diesem Jahre bemerkte, einen sehr ausgedehn-
 Gebrauch.

Endlich wurde noch die Besorgniß ausgesprochen, daß die
 menschiffahrt, namentlich auf der Spaarne leiden werde, wenn
 der Fluß seine bisherige Speisung verliert. Es ließ sich aber
 nicht nachweisen, daß die befürchtete Senkung des Wasserstandes
 unbedeutend sei.

Die Siele oder Schleusen wurden übereinstimmend mit den Vor-
 schlägen der Commission ausgeführt. Die vordere, in Fig. 45 mit
 bezeichnete ist unbedingt dem stärksten Angriffe ausgesetzt. Aus
 dem Grunde werden ihre fünf ziemlich schmale Oeffnungen nicht
 durch Thore, sondern durch sehr feste Schütze geschlossen, die auf
 beiden Seiten einen höhern Wasserstand halten können. Bei hef-
 igen Stürmen und namentlich während Sturmfluthen läßt man diese
 Schütze herab, um die dahinter liegende zweite Schleuse jeder Ge-
 fahr zu entziehen. Dasselbe geschieht auch, wenn man die Canal-
 führung spülen will und zu diesem Zwecke die vordere Canal-
 locke mit Fluthwasser gefüllt hat. Gewöhnlich sind die Schütze
 geschlossen geöffnet und bleiben bei ruhiger Witterung Monate hin-
 durch unberührt.

Die zweite Schleuse *B* ist das eigentliche Siele, doch darf man
 diese Benennung ihr kaum beilegen, insofern sie nicht überdeckt
 und der Deich nicht über sie fortgeführt ist. Sie hat in jeder Oeff-
 nung zwei Paar Fluththore hinter einander, auf welche der Druck
 im hohem Stande der See vertheilt wird. Ein drittes Thorpaar in
 jeder Oeffnung war nach dem Binnenlande gekehrt, um die Aus-
 strömung, wenn es nöthig ist, zu unterbrechen, auch befand sich
 in jedem Flügel der letzteren ein Spülthor. Diese dritten Thore
 existiren jedoch nicht mehr.

Endlich ist noch eine dritte Schleuse *C* hinzugefügt, die eigentlich nur eine überwölbte und mit Schlagschwellen versehene Brücke ist. Jede Oeffnung derselben kann durch ein großes, nur aus einem Flügel bestehendes Thor geschlossen werden, das sich flach an der Stirnfläche des Bogens lehnt. Diese Thore schlagen seewärts und haben den Zweck, die weitere Verbreitung des Seewassers dem Canale zu verhindern, so oft man solches behufs der Spülung in die vorderste Strecke zur Zeit des Hochwassers einläßt.

Was die Höhen-Verhältnisse betrifft, so ist zu erwähnen, daß die gewöhnlichen Fluthen bei Catwijk bis 3 Fufs über Amsterdamer Peil steigen, die gewöhnlichen Ebben dagegen $2\frac{1}{2}$ Fufs darunter sinken. Bei Sturmfluthen erhebt sich der Wasserspiegel ohne Rücksicht auf die Höhe der Wellen bis auf 10 auch wohl auf $10\frac{1}{2}$ Fufs. Die Düne stieg in ihrem natürlichen Zustande in der Richtung des Canales zwischen den Schleusen *A* und *B* bis $37\frac{1}{2}$ Fufs über Amsterdamer Peil an, obwohl sie gerade hier sich auffallend einsenkte. Viel geringer war die Höhe der flachen Düne im Dorfe Catwijk, die stellenweise nur 18 Fufs über Amsterdamer Peil sich erhebt. Die Terrainhöhe neben der Schleuse *B* mißt 12 Fufs, senkt sich aber von hier ziemlich gleichmäfsig und beträgt bei der Schleuse *A* nur noch 3 bis 4 Fufs. Dieselbe Höhe setzt sich in der Richtung des Canales bis zu dem Noordwijker Wege fort, der von Catwijk a. d. R. in nördlicher Richtung abgeht, und von hier tritt der Canal in das niedrige Terrain, welches durchschnittlich in der Höhe des Amsterdamer Peils liegt. Der Wasserstand im alten Rhein darf die Höhe von 1 Fufs unter Amsterdamer Peil nicht übersteigen, weil sonst die Entwässerung nicht genügen würde.

Der Canal liegt mit seiner Sohle auf — 7 Fufs *AP*, die Fachbäume der Schleusen dagegen 9 Zoll höher, also auf — 6 Fufs 3 Zoll. Zur Zeit der Springfluthen sinkt die Nordsee hier bis auf — 2 Fufs 6,6 Zoll herab, so daß der Wasserstand auf den Fachbäumen alsdann nur 3 Fufs 8,4 Zoll beträgt. Dieses Maafs ist vergleichungsweise gegen andre Schleusen sehr geringe, denn die Schlagschwellen der Siele bei Spaarndam liegen auf — 11 Fufs 9,5 Zoll, während das niedrigste Wasser im Y viel höher bleibt, als das in der Nordsee.

Die der See zugekehrte Stirnmauer der Schleuse *A* hat die Höhe + 19 Fufs, und steigt theils selbst und theils in der anschließenden

Erhöhung bis $+ 26$ Fufs an. Indem nun die höchsten Fluthen nur bis $+ 11$ Fufs erheben, so ist der Eintritt derselben und der Wellen sicher verhindert. Auf beiden Seiten setzen sich Regelmauern in 18 Fufs Höhe bis unter die Dünen fort. In der Klasse *B* liegen die Mauern auf $+ 16\frac{1}{4}$ Fufs und die vorderen Mithore auf $+ 15$ Fufs. Der darüber führende Weg liegt auf $+ 17$ Fufs.

Zur Ermittlung der nöthigen Durchflußöffnungen der drei Classen untersuchte die Commission die Profile der Wasserläufe, welche bei Catwijk abgeleitet werden sollten, und zwar wurden alle sämtlichen Profile unter dem Horizonte von 1 Fufs unter Amsterdamer Peil gemessen. Es ergab sich, daß für den bezeichneten Wasserstand allein der alte Rhein und das Rheinische Fließ in Betracht kommen. Letzteres ergießt sich bei Catwijk in den Rhein. Der von Norden herabkommende Canal, die Maandagsche Watering genannt, lag dagegen so hoch, daß er in trockner Jahreszeit gar keine Zuflüsse aufnahm. Die Summe der Profil-Oeffnungen der beiden ersten Wasserläufe und zwar an solchen Stellen, wo sie ziemlich beengt waren, stellte sich auf 264 Quadratfufs heraus. Eine gleiche Oeffnung wurde für die Schleusen bestimmt. Die Höhe der Schlagschwellen und Fachbäume setzte die Commission dagegen auf 6 Fufs unter Amsterdamer Peil, damit selbst bei niedrigen Wasserstände noch ein kräftiger Abfluß erfolgen könne. Hieraus ergab sich für den angenommenen Wasserstand in den Schleusen die Höhe des Durchfluß-Profiles gleich 5 Fufs, und folglich die Gesamtbreite desselben 52 Fufs 10 Zoll. Das Hauptziel erhielt 1 Oeffnungen von 18 Fufs, die äußere Schleuse *A* dagegen 5 Oeffnungen von 12 Fufs Weite, und die innere Schleuse *C* wieder 3 Oeffnungen von 20 Fufs.

Diesen Theil der Untersuchung hat die Commission nicht so vollständig geführt, als er es verdiente, und es muß auffallen, daß eine so wichtige und so kostbare Anlage zur Ausführung gebracht ist, ohne daß man sich von der Gröfse des erwarteten Effectes eine klare Vorstellung zu machen versucht und die Wassermenge ermittelt hatte, die bei den verschiedenen Wasserständen und Witterungsverhältnissen abgeführt werden sollte.

Ueber die einzelnen Bauwerke und Ausführungen dieser Ent-

wässerungs - Anlagen müssen noch einige Mittheilungen gemacht werden.

Die beiden Höfter, welche die Mündung einschliessen, wurden etwa 36 Fufs breit aus Senkstücken erbaut und mit grösseren Steinen sorgfältig abgedeckt. Sie sind 40 Ruthen lang, und im Längsten 25 Ruthen von einander entfernt. Ihre Köpfe erheben sich wenig über das gewöhnliche niedrige Wasser, die Wurzeln liegen dagegen etwa 1 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser. Die Steindecke bestand Anfangs nur aus flachen Steinen von mässiger Stärke, die von Flechtzäunen umschlossen waren. Später hat man dagegen Bankete von 18 Fufs Breite dagegen gelehnt und die Krone flach gewölbt und mit schweren Brabanter Steinen, zum Theil auch mit grossen Basalten abgepflastert. Ausserdem sind die Fugen in der Krone bis gegen das Ufer mit Mörtel ausgestrichen. Nicht desto weniger bemerkte ich, als ich in diesem Jahre (1862) die Anlage sah, dass das Pflaster, sowol binnenseitig als vor den Köpfen an ganz frische Flechtzäune sich lehnte, woraus sich also ergibt, dass die Beschädigungen und Reparaturen keineswegs aufgehört haben.

Von besonderer Wichtigkeit ist die äussere Schleuse A, deren Flügel sich mittelbar durch die davor angebrachte Steinbüschung mit jenen Höfter anschliessen. Fig. 46, a, b und c stellt diese Schleuse im Grundrisse, in der Ansicht von vorn und im Querschnitte dar, doch stimmt die Ausführung nicht vollständig mit diesen aus dem Berichte der Commission entlehnten Zeichnungen überein. Der vordere Theil, der die Schütze und deren Befestigung und Aufstellung umfasst, hat keine Aenderung erfahren, aber die Pfeiler setzen sich hinter der Brücke etwa um 10 Fufs weiter fort, als die Zeichnung angiebt, und zwischen der Brücke und den nächsten Dammfuss dahinter waren früher noch Spülthore eingehängt, deren Aufhebung ausserdem die Anbringung besonderer Fachbäume und die Veränderung des Grundwerkes nöthig machte. Diese Thore, welche zur Spülung der Mündung zwischen jenen vortretenden Molen stehen sollten, sind indessen später wieder beseitigt, weil die Schütze schon denselben Zweck erfüllen und namentlich nur das mittlere geöffnet werden durfte, um einen kräftigen Strom bis zum tiefen Wasser darzustellen.

Die Stirnpfeiler erheben sich 19 Fufs über Amsterdamer F

vier Mittelpfeiler dagegen nur auf 13 Fufs. Die Oeffnungen sind 12 Fufs weit und jede derselben ist auf der äufsern Seite durch einen 10 Fufs breiten Bogen überspannt, dessen Scheitel in der untern Fläche $7\frac{1}{2}$ Fufs über Amsterdamer Peil liegt. Diese Bogen sind zur Höhe der Stirnpfeiler voll übermauert, und das Mauerwerk steigt neben den Schützen noch höher an, und bildet eine Verdammung, von welcher das aufspritzende Wasser leicht abfließen kann. Durch diese grofse Mauermassen wird die Kraft der gegenschlagenden Wellen gebrochen. Auf der Binnenseite schliessen sich an die Falze, worin die Schütze sich bewegen, wieder andre Bogen an, deren Scheitel auf 11 Fufs *AP* liegen. Diese letzten Bogen bilden ebenfalls eine Brücke. Das Mauerwerk ist aus gebrannten Steinen ausgeführt, in den Ecken und neben den Dammfalzen aber mit grofsen Werkstücken verkleidet. Ausser den Falzen für die Schütze befinden sich in jedem Pfeiler, wie die Figur zeigt, noch vier Dammfalze, worin bei Reparaturen, oder wenn die Schütze brechen sollten, sowol auf der See- als auf der Landseite zwei Reihen Dammbohlen eingelegt werden können.

Die Construction des Schleusenbodens ergibt sich mit hinreichender Deutlichkeit aus den Figuren und stimmt mit der in den Niederlanden üblichen Anordnung überein. Zu erwähnen ist nur, dafs man aus Besorgnis vor den Zerstörungen durch den Seewurm den ganzen hölzernen Boden dieses Bauwerkes, soweit derselbe nicht übermauert ist, mit Kupferblech überdeckt hat, was auch im Grundrisse angedeutet ist. Diese Figur stellt übrigens in den verschiedenen Oeffnungen verschiedene horizontale Durchschnitte dar.

Der wichtigste Theil in diesem Bau ist der Verschluss der Oeffnungen durch die Schütze. Dieselben sind $12\frac{1}{2}$ Fufs hoch und bestehen aus hölzernen Rahmen, worin sich fünf horizontale Querriegel befinden. Diese sind mit $2\frac{1}{2}$ zölligen Bohlen verkleidet. Wenn sie geschlossen sind, so stehn sie unten in Falzen, die in den starken Fachbäumen angebracht sind, zu beiden Seiten ruht jedes Schütz in Mauerfalzen, und oben lehnen sie sich wieder, sowol vorn, als hinten, an starke Balken, die in die Pfeiler eingreifen. Indem aber diese Balken und die Oberkanten der Schütze noch nicht bis zu den Scheiteln der Gewölbe reichen, so würden bei heftiger Bewegung des Meeres die Wellen noch darüber fortschlagen, und Beschädigung der Canalufer veranlassen. Um dieses zu verhindern,

sind auf jene Balken Mauern gestellt, von denen die vordern sich an die Stirnen der ersten Bogen, die hinteren aber an die innern Flächen der Brückenbogen stumpf anschließen. Man würde bei uns eine solche Construction kaum bei gewöhnlichen Bauten und gewiß nicht bei einem so wichtigen Werke gut heißen: in den Niederlanden, auch in England und Frankreich ist man indessen in dieser Beziehung weniger besorgt, und man darf dabei auch nicht übersehn, daß diese Mauern, falls sie schadhaft werden sollten, leicht erneuert werden können. In der beschriebenen Art lassen sich die Oeffnungen vollständig verschließen, die Wellen aus der See werden daher vom Canale ganz abgehalten, und dieses ist der Hauptzweck der ersten Schleuse. Zur Abhaltung des Hochwassers dient dieses Bauwerk nur in geringem Maasse, denn ohnerachtet der Spundwände, welche den Boden und die nächsten Umgebungen sichern sollen, dringen die Quellungen überall durch den Sand hindurch, und bei hohen Fluthen füllt sich die erste Canalstrecke bis nahe an den Horizont des äußern Wasserspiegels an. Das Hochwasser muß daher durch die zweite Schleuse vom Binnenlande abgehalten werden.

Zum Oeffnen der Schütze ist jedes derselben mit zwei gezahnten Stangen versehen, die in zwei Getriebe an einer gemeinschaftlichen Achse eingreifen. An dieser Achse befindet sich ein Stirnrad, das in ein zweites Getriebe greift, und die Achse des letztern hat an jeder Seite eine Curbel und außerdem eine Hornhaspel. Vier Mann können mittelst der Curbeln jedes Schütz leicht heben, wenn der Wasserstand auf beiden Seiten derselbe ist. Bei einem geringen Ueberdrucke von der einen und der andern Seite müssen die Hornhaspeln zu Hülfe genommen werden. Wenn dagegen der Binnen-Wasserstand bedeutend höher als der äußere ist, oder umgekehrt, so genügt die beschriebene Vorrichtung noch nicht, um die Bewegung durch vier Mann zu veranlassen, und bei der isolirten Lage der Schleuse kann man nicht immer darauf rechnen, eine größere Mannschaft schnell genug herbeizuschaffen. Aus diesem Grunde ist das Schütz in der mittleren Oeffnung noch mittelst zweier Ketten mit einem sehr schweren Gegengewichte verbunden. Letzteres erleichtert seine Bewegung, und sobald es gehoben ist, läßt man zunächst das Wasser aus der ersten Canalstrecke abfließen, ehe man die andern vier Schütze zieht. Der starke Strom, der in

dem Falle sich bildet, trägt wesentlich zur Aufräumung der Canal-Mündung bei, und aus diesem Grunde konnten auch ohne Nachtheil die Spülthore beseitigt werden. In neuerer Zeit hat man hier noch die Aenderung eingeführt, daß das mittlere Schütz in zwei Hälften zerlegt ist, von denen der obere stumpf auf dem untern ruht, und besonders gezogen werden kann. Dieses geschieht, wenn man die Canal-Mündung spülen will, und das Hochwasser zu diesem Zwecke in die vordere Strecke, bis zur Schleuse C eingelassen wird. Indem nämlich der Sand größtentheils neben dem Boden liegt, so ist es von Wichtigkeit, die untern Wasserschichten vom Sande abzuhalten, und man zieht daher nur die obere Hälfte des Schützes.

Die erste Canalstrecke, die 120 Ruthen lang ist, liegt ganz in den Dünen. Man mußte bei ihrer Anlage nicht allein die leichten Ufer gegen Abbruch durch die Strömung und den Wellenschlag, der sich im Canale selbst bildet, sichern, sondern außerdem auch das Hineinfliegen des losen Dünensandes verhindern. Zu diesem Zwecke sind die Ufer bis zur vollen Höhe der Dünen flach abgeflacht und mit mehrfachen Banketen versehen, außerdem aber mit Erde und Rasen bedeckt. Die Böschungen haben ungefähr fünffache Anlage, und der Rasen war gut angewachsen. Ueberdies hatte man Anfangs auf etwa 200 Ruthen Länge sowol nord- als südwärts die Dünen planirt und vollständig mit Sandgräsern bepflanzt, die also allen fliegenden Sand auffingen und ihn gegen späteres Forttreiben schützten. Daß eine sehr sorgfältige Unterhaltung solcher Anlage erforderlich ist, und geringe Beschädigungen bei Stürmen leicht eine große Ausdehnung annehmen, wird bei Gelegenheit des Dünenbaues näher erörtert werden. Diese Canalstrecke erhielt ursprünglich in dem Horizonte von Amsterdamer Peil die Breite von 80 Fufs. Die Seitenwände hatten bis 2 Fufs darunter dreifache und von hier bis zur Sohle ein und einhalbfache Anlage. Die Sohlenbreite betrug 55 Fufs.

Die zweite Schleuse B bildet das eigentliche Siele, welches sowohl den hohen Wasserstand der See von dem Binnenlande abhält, als auch bei den Ebben, so oft diese unter das Niveau des Canals absinken, zur Auswässerung dient. Der Baugrund unter demselben ist ein fest abgelagerter, sehr zäher Klai, der also vollkommene Sicherheit gegen das Durchquellen des Wassers bietet, nur

die obern Lagen waren stark sandhaltig, doch gaben dieselben kein Wegs zu Besorgniss Veranlassung, da sie theils noch so viele Theilchen enthielten, daß eine versuchsweise ausgehobene Grube an senkrechten Seitenwänden und ohne Absteifung längere Zeit hindurch sich unversehrt erhielt, theils aber mußten schon wegen der erforderlichen Tiefe des Sielbodens diese loseren Schichten beseitigt werden.

Dieser Bau ist nicht als eigentliches Siel behandelt, insofern man den kurzen Deich, der die beiderseitig belegenen Dünen miteinander verbindet, nicht darüber fortführte, vielmehr erhielten die drei Oeffnungen keine Ueberdeckung, und es wurde nur eine massive Brücke darüber gespannt. Der Grund, weshalb man diese Anordnung wählte, die ohne Zweifel die Anlage etwas erschweren war nur der Wunsch, alle Theile des Baues so frei aufzustellen, daß sie jederzeit mit Sicherheit und bequem untersucht werden konnten. Bei dieser Schleuse ist das von der Commission aufgestellte Project ohne wesentliche Aenderung zur Ausführung gekommen.

Fig. 47, *a*, *b* und *c* zeigt diese Schleuse im Grundrisse, in der Ansicht von der Seeseite und im Durchschnitte. Im Grundrisse sind aber wieder zur Verdeutlichung der Construction die horizontalen Durchschnitte in verschiedene Höhen gelegt. Ursprünglich wurden, wie die Figuren angeben, drei Oeffnungen, jede von 18 Fuß lichter Weite dargestellt. Die Oberflächen der Schlagschwellen legte man 6 Fuß unter Amsterdamer Peil. Die Stirnpfeiler, Mittelpfeiler und vorderen Flügel-Mauern erheben sich bis 16 Fuß 9 Zoll über *AP*, der hintere oder landwärts gekehrte Theil des Bauwerkes ist dagegen 10 Fuß niedriger gehalten. In jeder Oeffnung befanden sich drei Paare Stemmthore. Die vorderen Thore sind Fluth-Thore und wie gewöhnliche Schleusenthore behandelt. Sie lehnen sich, wenn sie geschlossen werden, nur unten gegen Schlagschwellen, die 1 Fuß über den Schleusenboden vortreten. Ihre Wendesäulen stützen sich aber in Wendenischen, und so bilden sie eine kräftige Verstrebung gegen den Druck des Hochwassers. Ihre obern Rahmen liegen 15 Fuß über *AP*. Das zweite Thorpaar ist gleichfalls gegen die See gekehrt, oder bildet wie die Fluththore, die jedoch 10 Fuß niedriger sind, also nur wenig über die gewöhnlichen Springfluthen reichen. Die Schlagsäulen erheben sich indessen wieder bis über die Schleusenmauern,

Thore in einfacher Weise öffnen, schliessen und feststellen zu können.

Diese zweiten Thorpaare haben doppelten Zweck. Zunächst sind sie die eigentlichen Sielthore, die bei ruhiger Witterung allein benutzt werden, und indem sie sich von selbst öffnen und schliessen, veranlassen sie die Auswässerung und verhindern den Eintritt des Hochwassers in das Binnenland. Sie können deshalb auch durch Aufhalter gestützt werden, damit sie nicht etwa während der Fluth liegen bleiben, vielmehr die erste eingehende Strömung sie schon öffnet und verschliesst. Da jedoch hierdurch das Ausfluß-Profil beschränkt wird und Wärter neben der Schleuse wohnen, so pflegt man diese Aufhalter nicht zu benutzen, so lange die Entwässerung kräftig erfolgen soll. Die Wärter ziehn alsdann die Thore bei jeder Ebbe scharf in die Thornischen, und drehn sie, sobald der Strom umsetzt, wieder zurück. Demnächst dienen diese Thore auch zur Vertheilung des Druckes bei ungewöhnlich hohen Fluthen. In solchem Falle werden die äufsern Thore geschlossen, und von den in Rede stehenden innern unterstützt. Damit aber zwischen beiden ein mittlerer Wasserstand sich darstellt und dauernd erhalten wird, befinden sich in jenen, wie in diesen noch Schütze, wodurch man theils den Zwischenraum in geeigneter Weise anfüllt, theils aber auch die Wasserverluste ersetzt, die bei gröfserer oder minderer Undichtigkeit eines Thorpaares den beabsichtigten Wasserstand zwischen beiden verändern würden.

Das zweite oder niedrige Paar der Fluththore lehnt sich, wenn es geschlossen ist, nicht nur unten, sondern auch oben an Schlag-schwellen oder an einen Drempel. Letzterer besteht gleichfalls aus Holz, und auf den starken Mittelbalken, der die Basis des gleichschenkligen Dreiecks bildet, ist wieder eine Mauer gestellt, die den Raum bis zum Brückenbogen vollständig abschliesst. Diese Thore können daher, wenn die äufsern vielleicht ausser Thätigkeit gesetzt werden müßten, noch einen Wasserstand abhalten, der höher ist, als sie selbst sind.

Endlich wurde bei der ersten Anlage jede Oeffnung, wie die Figuren zeigen, noch mit einem dritten Thorpaare, nämlich mit Ebbethoren versehen, die nach innen aufschlugen. Sie hatten die Höhe der hinteren Fluththore, und lehnten sich wie diese, wenn sie geschlossen waren, sowol unten, wie oben, gegen Schlagschwel-

len, die Zwischenräume zwischen dem obern Anschlag und der Brücke blieben jedoch offen, weil theils das Binnenwasser solche Höhe nicht erreichte, theils aber, wenn Letzteres etwa bei Deichbrüchen der Fall sein sollte, diese Thore gewiss nicht geschlossen werden durften. Ihre Flügel waren mit Spülthoren versehen, wie Fig. 47, *c* zeigt. Ausserdem hatten diese Ebbethore noch einen andern Zweck, sie sollten nämlich eine zu tiefe Senkung des Binnenwassers verhindern, und diese Rücksicht war vorzugsweise durch die sehr ausgedehnte Binnenschifffahrt geboten. Nichts desto weniger sind sie seit langer Zeit beseitigt, da beim Spülen der Canal-Mündung die viel längere Strecke bis zur dritten Schleuse *C* auch benutzt werden mußte und ausserdem ein höherer Wasserstand im Binnenlande, so oft es nöthig war, immer sehr sicher durch die Schütze in der Schleuse *A* erhalten werden konnte. Auf die doppelten Dammfalze an beiden Enden jeder Oeffnung wird noch aufmerksam gemacht, die zum Abschlusse bei vorkommenden Reparaturen dienen.

Die Schleuse *C* endlich ist ein Bauwerk, das sich von einer gewöhnlichen massiven Brücke wenig unterscheidet. Fig. 48, *a* und *b* stellt es in der Ansicht von der Seeseite und im Querdurchschnitte dar. Die Oeffnungen, deren es Anfangs nur drei hatte, sind 20 Fufs weit, und jede derselben kann durch ein sehr grosses Thor geschlossen werden, das sich stumpf gegen die Brückenpfeiler und den Bogen, und zugleich unten gegen eine hölzerne Schwelle lehnt. Die Mittelpfeiler haben zu diesem Zwecke ebene Stirnflächen erhalten, die mit den Bogen bündig sind, nur die Landpfeiler treten wie Fig. 48, *b* zeigt, darüber hervor, doch bildet der Theil zunächst der Oeffnung auch hier noch den nöthigen Anschlag für das Thor. Man schliesst diese Thore, wenn behufs einer beabsichtigten Spülung das Hochwasser der See eingelassen werden soll, und sie verhindern alsdann das Eindringen des Letzteren in das dahinter belegene Binnenland.

Neben diese letzte Schleuse wurde noch eine Dampfmaschine gestellt, die zunächst wohl den Zweck hatte, Seewasser auf ein daneben stehendes Gradirwerk zu pumpen, das jedoch nicht mehr existirt. Ausserdem verband man aber hiermit auch noch die Absicht, in der Zeit, wenn die Siele wegen hohen Aussenwassers nur wenig wirken konnten, das Binnenwasser über die Schleuse *C* hin-

zu fördern, damit es von hier aus theils wegen der etwas grö-
m Höhe und theils weil es den vorderen Schleusen näher war,
en schnelleren Abfluss fände. Ob man von diesem gewifs we-
g erfolgreichen Mittel jemals Gebrauch gemacht hat, ist nicht be-
annt geworden.

Im Vorstehenden ist die ganze Anlage in ihrer ursprünglichen
Richtung beschrieben. Sie erwies sich sogleich als sehr vortheil-
haft und die Entwässerung des Rheinlandes erfolgte viel erfolg-
reicher und regelmässiger, als vorher, aber dennoch wurden die Er-
wartungen keineswegs vollständig erfüllt und eine nähere Unter-
suchung zeigte bald manche wesentliche Mängel. Das Wasser wurde
nicht in dem Maasse abgeführt, wie das gewonnene Gefälle dieses
erwarten liess. Die Zuflüsse zum neuen Canale, also der alte Rhein,
hatte nicht das erforderliche Profil, und es bildete sich daher schon
in ihm ein merkliches Gefälle. Auch im Canale selbst und na-
mentlich beim Durchgange des Wassers durch die drei Schleusen
trat derselbe Uebelstand ein. Hierdurch wurde ein grosser Theil
des an sich sehr schwachen Gefälles bei der Zuführung schon auf-
gehoben und die Entwässerung dadurch wesentlich beeinträchtigt.
Die andern Siele, die früher das Wasser aus dem Rheinlande ab-
geführt hatten, mußten daher noch fortwährend im Gebrauch blei-
ben. Als später die Trockenlegung des Haarlemmer Meeres beab-
sichtigt wurde, wobei die älteren Hauptabflüsse für das Rheinland
geopfert werden sollten, stellte sich die Nothwendigkeit zur Ver-
besserung der Anlage bei Catwijk dringend heraus. Diese ist im
Jahre 1841 zur Ausführung gekommen und die in Fig. 45 angege-
benen Dimensionen und Anlagen beziehn sich auf den gegenwärti-
gen Zustand.

Zunächst mußte für eine bessere Zuleitung des Wassers aus
dem Binnenlande gesorgt werden, die bisher nur durch den alten
Rhein geschah. Zu diesem Zweck wurde ein ganz neuer Canal
von 1100 Ruthen Länge ausgeführt. Derselbe hatte bei Poelgeest
den demjenigen Canale seinen Anfang, der Leyden mit Haarlem ver-
bindet. Er zieht sich bei Oegstgeest vorbei und tritt bei Catwijk
d. R. in den alten Rhein. Er ist in dem Horizont von AP
27½ Fufs, und in seiner Sohle, die 7 Fufs darunter liegt, 100 Fufs
weit. Der alte Rhein blieb ziemlich unverändert, doch ist seine
weitere Verbesserung noch in Aussicht genommen. Der aus der

Verbindung beider sich bildende Haupt-Entwässerungs-Canal erhielt unter Beibehaltung seiner Tiefe die Breite von 166 Fuß im Horizonte *AP*, und 7 Fuß darunter oder in seiner Sohle von 137 Fuß. Die Dossirungen wurden aber über und unter Wasser mit Steinen bedeckt, die sich gegen verschiedene Reihen Flechtzäune lehnen.

Demnächst wurde die Schleuse *C* mit drei neuen Oeffnungen von derselben lichten Weite, wie die frühern, versehen, so daß ihr Durchfluß-Profil sich verdoppelte. Die Schleuse *B* erhielt dagegen an jeder Seite noch eine mit den drei ältern übereinstimmende Oeffnung. Die Schleuse *A* blieb unverändert, da ihr Umbau oder Neubau theils zu kostbar erschien, und man theils den sehr sichern Schutz, den sie bot, selbst für kürzere Zeit nicht unterbrechen wollte. Die Senkung der verschiedenen Schwellen unterblieb gleichfalls, weil man zu diesem Zwecke die vorhandenen Werke vollständig hätte abbrechen müssen, während sie sich noch in gutem Stande befanden. Dagegen konnten die erwähnten Anbaue ausgeführt werden, ohne die Schleusen außer Thätigkeit zu setzen. Die Rücksicht auf den ununterbrochenen Fortgang der Entwässerung, der selbst für kurze Zeit nicht gestört werden durfte, war bei Aufstellung der Projecte für diese Umbau vorzugsweise maafsgebend gewesen.

Die Erfolge erwiesen sich sehr befriedigend. Die vom Ingenieur Kock angestellten Messungen ergaben nämlich, daß gegenwärtig im Durchschnitt das Doppelte der früheren Wassermenge abgeführt wird.

Ende des ersten Bandes.

**Die Herausgabe von Uebertragungen in fremde Sprachen behält sich
die Verlagshandlung vor.**

Handbuch
der
Wasserbaukunst

von
G. Hagen.

Dritter Theil:
Das Meer.

Zweiter Band mit 11 Kupfertafeln.

Berlin 1863.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Seeufer-
und
Hafen - Bau.

Von
G. Hagen.

Zweiter Band.

Mit einem Atlas von 11 Kupfertafeln in Folio.

Berlin 1863.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

•
TAYLOR LIE
JAN 14 1974
NEW YORK

Inhalts - Verzeichnifs

des zweiten Bandes.

Abschnitt III.

Uferbauten.

	Seite
20. Abbrechende Ufer	3
21. Uferdeckungen	13
22. Einbaue vor Aufsendeichen	48
23. Einbaue vor dem Strande	66
24. Uferschutz bei Petten	81
25. Die Dünen	97
26. Die Vordüne	118
27. Dünen-Cultur	137
28. Wirkung des Windes auf den Sand	149

Abschnitt IV.

Anordnung der Seehäfen.

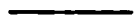
29. Verschiedenheit der Häfen	175
30. Bezeichnung der Häfen	185
31. Das Seeschiff	197
32. Erfordernisse der Seehäfen	224
33. Mäfsigung des Wellenschlages	246
34. Die Rhede	258
35. Frühere Bauten bei Cherbourg	269
36. Spätere Bauten bei Cherbourg	297

Abschnitt V.

Die Hafenmündung.

37. Local-Untersuchungen	321
38. Richtung und Weite der Mündung	347
39. Erhaltung der Tiefe	362
40. Hafendämme	380

Dritter Abschnitt.



U f e r b a u t e n .

§. 20.

Abbrechende Ufer.

In der Betrachtung der Erscheinungen am Meere ergab sich, daß Küsten, welche der vollen Einwirkung des Wellenschlages und Strömung ausgesetzt sind, durch diese angegriffen werden und entweder schneller oder langsamer abbrechen und zurückweichen. In der That rings um die großen Weltmeere dieser Kampf schon vor unvordenklicher Zeit begonnen hat, so sind daselbst diejenigen Ufer verwunden, welche dem Andrang der Fluthen und Wogen nicht widerstehen konnten. Nur feste Gebirge setzen hier dem weiteren Abbruche Grenzen, und wenn auch diese den zerstörenden Wirkungen sich nicht vollständig entziehen, so erfolgt ihr Abbruch doch langsam, daß derselbe nicht sowohl aus historischen Ueberlieferungen, als vielmehr nur aus der äußern Erscheinung der Felsenriffe erkannt wird.

Bei der verschiedenen Gestaltung und Festigkeit der Gebirge ragen einzelne Stellen in den Ufern weiter vor. Hierdurch bilden sich Vorgebirge oder Uferecken, welche in den zwischenliegenden Strecken bei gewissen Winden den Wellenschlag mäßigen und ablenken, gleich den Küstenstrom, der im Allgemeinen die geraden Wege verfolgt, von hier entfernt halten. In beiden Beziehungen geben sie Veranlassung, daß der vorbeistreibende Sand und Kies in oder vor den Buchten zwischen je zwei solcher Felsecken sich ablagert und einen niedrigen flach landwärts gekrümmten Strand bildet.

Dieselbe Erscheinung wiederholt sich auch an kleineren Meeren, wie an der Ostsee und Nordsee, deren jüngerer Ursprung sich dadurch zu erkennen giebt, daß ihre Ufer noch vielfach aus weichen Gebirgsarten und größtentheils sogar aus aufgeschwemmtem

Boden bestehn. In ihnen sind die vortretenden Ecken in v
herem Grade, als in den grossen Meeren, der Zerstörung aus
und in gleichem Maasse, wie sie abbrechen, zieht sich auch
zwischen liegende Strand zurück.

Sowol in Pommern, als in Ost-Preussen bemerkt man i
schenzeiten von wenigen Jahren und oft schon nach einem e
stürmischen Winter sehr auffallende Veränderungen in den
Ufern, die unmittelbar an der offenen See liegen. Bei einer
messung des Dienstlandes der Feuerwärter in Brusterort fi
einst, daß an dieser Stelle, die allerdings dem Angriffe be
stark ausgesetzt ist, während einiger Jahrzehende der U
durchschnittlich in jedem Jahre um eine halbe Ruthe abget
war. Eben so zeigt sich vielfach sehr deutlich das Zurück
des niedrigen Seestrandes an der Preussischen Küste. Bei
und klarer See sieht man nämlich unter Wasser die Wurze
starken Bäumen, die sämmtlich ihre natürliche Stellung b
haben, also nicht angeschwommen, sondern hier gewachsen
einer Zeit, als diese Flächen noch festes Land oder ein l
Moor oder Torflager waren, das beim Verrotten der vegetabi
Theilchen bis unter den Meeresspiegel herabsank.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse in Meeresb
die weit zurücktreten, oder an Ufern, die im Schutze von
und ausgedehnten Untiefen liegen, wie solche vor den Stro
dungen sich oft bilden. Hier bemerkt man im Allgemeinen
Abbruch, vielmehr zeigen sich daselbst oft starke Verland
wie bei Gelegenheit der Seemarschen (§ 14) schon erwähnt
muß indessen darauf aufmerksam gemacht werden, daß die
scheinung nicht dauernd eintritt, daß vielmehr langsame, ab
unverkennbare Veränderungen sich hier vorbereiten, die in e
Zeit wieder die Zerstörung der jetzt entstehenden fruchtbar
ren in Aussicht stellen. Die Inseln, die gegenwärtig diese
gen Verhältnisse veranlassen, sind nämlich einem starken l
ausgesetzt. Der Leuchtthurm, der erst in diesem Jahrhunder
fern des nördlichen Ufers auf Wangeroog erbaut wurde, ist
seit mehreren Jahren aufgegeben und abgebrochen, weil er b
rückweichen der Ufer von der See bedroht wurde. Die Kirch
daselbst, die vor zehn Jahren noch durch eine natürliche Di
schützt war, ist gegenwärtig der augenscheinlichsten Gefahr

und das Dorf, noch vor wenigen Jahren als Badeort sehr besucht, ist grossentheils verlassen. In den siebenzehn Jahren von 16 bis 1853 hat sich die See um 1500 Fufs, also durchschnittlich jedem Jahre um 90 Fufs Oldenburgisch oder 85 Fufs Rheinländisch dem Dorfe genähert. Bremischer Seits ist in neuerer Zeit der Canal gemacht, die Kirche, die für das Fahrwasser der Weser eine sehr wichtige Landmarke bildet, durch buhnenartige Einbaue zu schützen. Auf Norderney hat die Hannoversche Regierung gleichfalls zum Schutze des dortigen Seebades sehr bedeutende Uferdeckungen zur Ausführung bringen lassen. Es steht dahin, ob man in diesen Fällen die nöthigen Geldmittel nicht scheuen wird, um diesen Kampf dauernd und mit Erfolg fortzusetzen. Jedenfalls wird es ein sehr ernster sein, denn die See greift hier, wie überall, die Küste an und zwar am stärksten in denjenigen Punkten, die man zu halten sich bemüht, weil beim Zurückweichen der angrenzenden Strecken der Strom und mit demselben die grosse Tiefe sich diesen am meisten nähert. Sollten diese Inseln aber einst verschwinden, oder vielleicht langsam zurückweichen, bis sie an das feste Land sich anschliessen, so wird auch dieses bedroht, und wenn nicht etwa die natürlichen Verhältnisse in Folge grosser Naturereignisse sich anders gestalten oder menschlicher Fleiss der Zerstörung eine Grenze setzt, werden nach sehr langer Zeit die reichen Niederungen, die jetzt noch an Ausdehnung zunehmen, wieder eine Beute des Meeres werden.

Wenn man indessen von solchen Gefahren ganz absieht, die nur in der spätesten Zukunft drohen, so dürfte doch der sehr bedeutende Landverlust, der an unsern Küsten in jedem Jahre eintritt, die Sicherstellung der Ufer fordern. Die Kosten der Deckung sind freilich so bedeutend, dass der Abbruch während einiger Jahre nicht noch nicht rechtfertigt, und dieses Missverhältniss stellt sich noch um so grösser heraus, als der Uferrand, der zunächst bedroht wird, gemeinhin wenig Werth hat. Er pflegt mit Sand bedeckt zu sein und nur einen geringen Ertrag zu geben. Selbst wenn Waldungen sich bis an die See hinziehen, zeigen die vorderen Bäume nur selten einen kräftigen Wuchs. Ihre Stämme überziehn sich, besonders vor den westlichen Ufern, mit starkem Moose, und das Holz ist mit Rissen durchzogen, indem der Wind grosse und kleine Aeste abbricht. Gesunde Bäume findet man erst in einiger Entfernung vom

Ufer, also an Stellen, die noch nicht bedroht sind. Wenn aber der vordere Rand mit der krankhaften Vegetation nicht erhalten wird, so setzt man die folgenden gesunden Stämme denselben nachtheiligen Einflüssen aus, und sonach trifft der Verlust beim Abbruche des Ufers jedesmal den werthvollen dahinter liegenden Boden.

Diese Ufer-Abbrüche, die sich an unserer Küste vielfach auf Strecken von mehreren Meilen Länge hinziehen, treffen gemeinlich einzelne Privatbesitzer, die zu einem kräftigen Schutze sich nicht entschließen, meist auch die dazu erforderlichen Kosten nicht aufbringen können. Größere Forsten, die sich bis an den Ufer hinziehen, versucht man freilich hin und wieder dadurch zu schützen, daß man die steilen Ufer abflacht und mit Dünengras bepflanzt. Dieses Mittel hat sich indessen wohl immer ungenügend erwiesen, weil man ohne übermäßige Kosten und ohne sehr großen Landverlust diejenige flache Böschung nicht darstellen kann, auf welche die Welle sanft auf- und abläuft (§ 5). Es bilden sich daher bald in dieser künstlichen Dossirung stufenförmige Abfälle, die von jeder Welle getroffen, und von denen immer neue Sandmassen abgespült und fortgetrieben werden. Vor manchen Ufern sind Anlagen dieser Art mehrfach wiederholt worden, es bleibt aber zweifelhaft, ob der Abbruch derselben und das weitere Vordringen der See hierdurch nicht sogar befördert ist, insofern der festbenutzte und mit Wurzeln durchzogene Boden noch mehr Widerstand gestet haben würde, als die lockere künstliche Böschung. Jedenfalls hat dieser Versuch noch nie zu einem günstigen Resultate geführt. Die Böschungen wurden, wie ich mehrfach sah, immer in der kürzesten Zeit zerstört, und wo man die Abgrabung begonnen hatte, bildete sich bald ein eben so steiler Uferrand, wie er früher ausschüß gewesen war.

Will man das Meeres-Ufer in angemessener Weise schützen, so muß bei der Deckung größerer Küsten-Strecken auf allen Vorthellen sorgfältig Gebrauch gemacht werden, welche die örtlichen Verhältnisse bieten. Die vortretenden Uferecken, welche den zwischenliegenden Strecken einigen Schutz gewähren, müssen zunächst ausgesucht und für ihre Erhaltung und Sicherstellung sorgfältig zugewandt werden. Gelingt dieses, so bietet die Deckung der dazwischenliegenden Ufer viel weniger Schwierigkeit und der methodische Dünenbau wird der Strand sogar, wenn auch

sch immer weiter vorgetrieben. Wo Hafendämme in die bilden dieselben schon solche vorspringende Uferecken, jenen Seite, welche der Küstenströmung zugekehrt ist, fast jedesmal ausgedehnte Sandfelder vor dem früheren. Die künstlich erzeugten Buchten füllen sich von selbst natürlichen Uferecken, die meist nur in geringerem Maasse sind die Erfolge im Allgemeinen weniger auffallend und kurz, so daß zuweilen auch die zwischenliegenden Strecken ebnen. Durch Anwendung geeigneter Mittel läßt sich indes wohl jedesmal verhindern.

Störungen, welche der Wellenschlag am aufgetreten Boden, so wie auch an klüftigem und weichem Gestein, rühren nicht sowol von dem Stosse oder der unmittelbaren mechanischen Einwirkung, als vielmehr vorzugsweise von dem ständigen und bedeutenden Wechsel des Wasserspiegels her. Sobald das Wasser das Ufer trifft, so dringt bis zur Höhe ihres Scheiters das Wasser in alle Zwischenräume und Oeffnungen des Bodens und fließt darauf wieder zurück. Letzteres geschieht unmittelbar unter der Oberfläche, theils aber auch oberhalb und in beiden Fällen führt das Wasser die feinen Theilchen mit sich fort. Im Innern stellt sich aber eine durchbrochene, von oben nach unten gerichtete Strömung ein, welche zur Auflockerung des Bodens und sonach auch zum Abtransport desselben wesentlich beiträgt. Der reine Sand lagert sich bei solcher Durchströmung sehr fest ab, doch geschieht dies nicht, wenn er eine horizontale oder wenigstens eine sehr flache Oberfläche hat. Ist er dagegen sehr steil geböscht, wie dieses bei natürlichen Ufern jedesmal der Fall ist, so fließt das eingedrungenes Wasser seitwärts heraus und die äußere Schicht verliert dadurch ihre Unterstützung, und folgt dem Wasser.

Wird es nachtheilig ist es, wenn Thon- und Sandschichten übereinander liegen, wie dieses an der Preussischen Küste vielfach vorkommt. Soweit die Wellen heraufreichen, werden sehr schnell die Sandlager ausgetrieben und der darauf ruhende Thon alsdann herab. Diese verschiedenartige Schichtung veranlaßt noch in anderer Weise den Einsturz steiler Ufer. Die vulkanischen Niederschläge gespeisten Quellen folgen näm-

lich den Sandschichten und zerstören diese besonders leicht, wenn sie seewärts geneigt sind, sie wirken also in den obern Theilen des Uferrandes in derselben Art, wie die Wellen es unten thun. Sie veranlassen häufig Abrutschungen von vielen Quadratruthen Oberfläche, und nicht nur der Rasen, sondern auch Gebüsch und selbst große Bäume gleiten mit den Erdmassen zugleich herab und bilden oft vor den hohen Ufern Terrassen, die mit üppiger Vegetation bedeckt sind.

Sobald die Erde bis auf den niedrigen Strand herabstürzt, entsteht ein Schuttkegel, der zwar Anfangs den Fuß des steilen Ufers bedeckt und denselben vor dem Angriffe der Wellen sichert, aber dieser Schutz verschwindet in der kürzesten Zeit. Die Wellen stoßen die gelockerte Masse hin und her und spülen dabei die ferneren Theile heraus. Die größeren Thonklumpen und eben so auch die Kreide zerfallen sehr bald, und nur Sand, Kies und grobes Geschiebe bleiben zurück. Der Sand und Kies wird aber von den Wellen auf- und abgeworfen und er folgt dabei der Richtung des Küstenstromes, so daß er gleichfalls an dieser Stelle verschwindet. Endlich gewähren aber auch die herabgestürzten Granitgeschiebe, selbst wenn sie sehr große Dimensionen haben, keinen dauernden Schutz dem Ufer. Sie können freilich weder fortgetrieben, noch auch zerstückelt werden, aber der stets wechselnde und vorübergehend sehr starke hydrostatische Druck, den die Wellen dagegen ausüben, treibt neben und unter ihnen den Sand und Kies fort, so daß sie nach und nach versinken. Dieses geschieht so lange, als sie den anlaufenden Wellen und dem zurückfließenden Wasser noch einen merklichen Widerstand entgegensetzen, also so lange sie noch vor der Sand- oder Kiesböschung über oder unter Wasser vorragen.

In dieser Weise weichen die hohen, aus aufgeschwemmtem Boden bestehenden Ufer, wo sie an die offene See treten, unaufhaltsam zurück, und die natürlichen flachen Böschungen, die sich vorübergehend bei ihrem Einsturze aus dem verschiedensten Material vor ihnen bilden, verhindern eben so wenig, wie die künstlich durch Abgrabung dargestellten Dossirungen, ihre Zerstörung. Die erwähnten Erscheinungen wiederholen sich vielfach an der Preussischen Ostsee-Küste. Man bemerkt sie auf der Insel Rügen, wie auch an andern Stellen der Provinz Pommern, und besonders im Samlande längs dem ganzen Ufer von der Frischen bis zur Kri-

ung. Vorzugsweise ist die nach Westen gekehrte 5 Meil-
strecke von Pillau bis Brusterort einem starken Angriffe

das Eis wirkt in der Ostsee sehr zerstörend. Bei stren-
gefriert die See mehrere Meilen weit rings um die um-
Ufer. So konnte man im Anfange des Jahres 1828 von
er Leuchthturme (90 Fuß über dem Meeresspiegel) bei
t und mit guten Fernröhren kein offenes Wasser sehn.
e Decke bei Stürmen plötzlich zerbricht und die mäch-
llen von den Wellen gegen das Ufer gestoßen werden,
n viel stärkere Abstürzungen und Einbrüche, als sonst.
tafeln werden oft in die Dünen und in andre Ufer tief
oben. Bei dieser Gelegenheit werden auch Granitblöcke,
oren waren, gehoben und weit versetzt. In den Fischer-
n östlichen Ufer von Rügen zeigen die Einwohner ver-
große Steine am Strande, die mit dem Eise angeschwom-

hohe Ufer in den am weitesten vortretenden Punkten zu
uß man zunächst die Annäherung der großen Tiefe ver-
und hierzu dienen buhnenartige Einbaue, die man
er hinausführt. Dieselben müssen fest construiert sein, da-
m Andrang der Wellen und des Eises widerstehn. Bei
Länge und wenn Sand und Kies reichlich vorbeitreibt,
ausgedehnte Untiefen davor liegen, bilden sich an ihren
ald Ablagerungen und der Strand nimmt an Höhe und
klich zu, so daß die Wellen das Ufer nicht mehr errei-
manchen und namentlich an den am meisten bedrohten
agert sich jedoch der Sand nur bei gewissen Winden ab,
er bei andern wieder fortgespült wird. Jedenfalls ist es
g, alle Mittel der Kunst zu versuchen, um eine dauernde
ckung mit Sand zu veranlassen, weil ohne diese das
er, wenn es auch ganz flach geböscht ist, doch bei jedem
lage immer abgeschält und dadurch bald zerstört wird.
hierdurch gelingt, einen flachen sandigen Strand vor dem
errande zu erzeugen und zu erhalten, zugleich aber auch
hmenden Vertiefung vor den Buhnenköpfen zu begegnen,
noch das hohe Ufer noch nicht gesichert, dasselbe nimmt
nach eine flachere Dossirung an, indem uamentlich das

von oben her eindringende Regenwasser Quellen bildet, die an einzelnen Stellen den Abbruch veranlassen. Durch Bepflanzung mit geeigneten Sträuchern kann man indessen ziemlich steile Böschungen dauernd erhalten, sofern ihr Fuß nur gesichert ist.

Die erwähnten Uferdeckungen wird man wegen der sehr grossen Kosten, die sie verursachen, jedesmal auf das geringste Mass beschränken, doch darf man nicht etwa einzelne isolirte Einbauten ausführen, weil dabei besorgt werden muß, daß zwischen denselben und dem abbrechenden Ufer tiefe Rinnen sich bilden, wodurch die ganze Anlage leicht zerstört werden könnte. Dieser Uferschutz muß daher jedesmal sich auf einige hundert Ruthen ausdehnen. Die sogenannte Hondsbossche Zee-Wering vor dem Dorfe Petten in Nord-Holland besteht ausser dem fortlaufenden Deckwerke in fünf und dreissig langen Buhnen, die ein Ufer von 1350 Ruthen oder zwei Drittel Meilen Länge schützen. Die Verhältnisse sind mit den so eben beschriebenen nicht ganz übereinstimmend, insofern dieses Ufer ein flaches ist. Dasselbe besteht nur aus dem niedrigen Marschboden, den Seesand überdeckt, und letzterer bildet eine Dünenkette, die jedoch an dieser Stelle sehr schwach war, und einen Einbruch des Meeres in das Binnenland oder in den sehr fruchtbaren Polder Zype besorgen liess. Die Düne ist daher in einen künstlichen Sanddeich verwandelt. Auch tritt dieses Ufer keineswegs vor die angrenzenden Strecken weit vor, es bildet vielmehr nur eine flache Ecke, die aber wegen der grossen Tiefe besonders bedroht wurde.

In vielen Fällen ist diese Sicherung einzelner Uferstellen ganz entbehrlich, weil der Strand schon an sich eine einspringende Curve bildet. Dieses ist z. B. an der Frischen Nehrung der Fall, deren seeseitiges Ufer von der neuen Mündung der Weichsel bis zu den Molen vor Pillau sehr nahe einen Quadrant von 8 Meilen Radius beschreibt. Hier stellt sich die flache Bucht, welche die Richtung des Strandes im Allgemeinen bezeichnet, schon von selbst dar, und es ist nicht mehr erforderlich, einzelne Punkte darin durch besondere Schutzmittel zu befestigen. Wo die Küste sich mehr in gerader Richtung hinzieht, wie etwa in Hinter-Pommern, wird man die Festpunkte vorsichtig aussuchen müssen, damit der fernere Abbruch sich auf das Minimum beschränkt, und zugleich die Kosten der Deckung sich nicht zu hoch stellen. Man wird aber diejenigen Punkte wählen, die schon an sich am weitesten in das Meer vor-

steinen, die also aus dem festesten Boden bestehn. Hierbei tritt noch ein wesentliche Vorthail ein, daß gerade an diesen Uferstellen auch die meisten Granitgeschiebe vorzukommen pflegen, wodurch die Anlage der buhnenartigen Einbaue sich sehr erleichtert. Selbst die davor liegenden Steine, die bereits unter den Wasserspiegel herabgesunken sind, können noch vorthailhaft zu diesen Bauten angewendet oder unmittelbar benutzt werden. Sie werden aber in ihrer Lage gesichert und vor weiterem Versinken geschützt, wenn sie sich an grössere Werke anlehnen.

In den Intervallen zwischen je zweien solcher vortretenden und befestigten Eckpunkte bildet sich, wie erwähnt, ein flachgekrümmtes Ufer aus. Gemeinhin besteht dasselbe aus einer Sand- oder Kies-Ablagerung. Wenn dagegen noch abbrüchige Thonufer darin vorkommen, so treten diese im Laufe der Zeit weiter zurück, und vor ihnen lagern sich wenigstens zeitweise Sandmassen ab. In beiden Fällen kommt hier der eigentliche Dünenbau in Anwendung, der die Bildung eines dauernden Strandes bezweckt.

Es ist bereits mitgetheilt, daß mit Ausnahme solcher Felsufer, die eine sehr große Tiefe vor sich haben, Kies- oder Sandmassen vor den Ufern treiben, die vom Wellenschlage in Bewegung gesetzt, der Richtung des Stromes folgen. Vor flachen Ufern werden sie nicht in die Tiefe herabgezogen, sie bleiben vielmehr in solcher Höhe, daß sie vom starken Wellenschlage wieder getroffen und oft gegen das Ufer geschleudert werden. Sehr große Massen dieses Sandes liegen vor den Ostsee-Küsten und vermehren sich durch den fortdauernden Abbruch der Ufer. Sie sind theils den Hafen-Mündungen sehr gefährlich, die sie bei starken Stürmen sperren, wenn keine kräftige Ausströmung dieses verhindert, theils aber fliegen sie auch weit landeinwärts und überdecken Aecker und Wiesen, denen sie die Ertragsfähigkeit nehmen und die sie oft in ganz werthloses Terrain verwandeln. Dieser aufgewehrte Sand lagert sich indessen keineswegs gleichmäfsig ab, er bildet vielmehr, durch zufällige Umstände veranlaßt, Hügel, die sich oft bis 50 und selbst 100 Fuß erheben und durch tiefe Thäler von einander getrennt sind. Jede Cultur wird hier um so zweifelhafter, als diese Hügel keinen Bestand haben und durch zufällige Umstände bei starkem Winde leicht fortreiben und an einer andern Stelle sich aufbauen. Diese Hügel, die in langen Reihen neben einander, und oft auch mehrfach hinter

einander liegen, nennt man Dünen. Die eigenthümlichen Erscheinungen, die sie zeigen, werden später ausführlich beschrieben werden, da sie beim Dünenbau nicht unbeachtet bleiben dürfen.

Der Dünenbau zerfällt in zwei wesentlich verschiedene Theile. Einmal und zwar in den meisten Fällen versteht man darunter die Cultur der Dünen, also vorzugsweise ihre Bepflanzung mit gewissen Bäumen. Wenn man, wie gewöhnlich geschieht, sich hierauf allein beschränkt, so erreicht man allerdings zuweilen sehr augenfällige Erfolge, aber in dieser Weise wird das Uebel nicht in seiner Wurzel beseitigt und die Bemühungen erweisen sich oft ganz vergeblich und müssen alsdann periodisch immer von Neuem wieder aufgenommen werden. Will man das Land gegen den Flugsand sicher stellen und zugleich die Culturen im Innern vor neuen Verwüstungen schützen, so kommt es zunächst darauf an, das Forttreiben des von der See aufgeworfenen oder durch die Strömung herbeigeführten Sandes vollständig zu verhindern. Diese letzte Absicht steht aber in der innigsten Verbindung mit derjenigen, welche sich auf die Sicherung des Ufers vor neuen Abbrüchen bezieht. Derselbe Sand, der im Binnenlande so verderblich ist, würde einen wesentlichen Schutz dem Ufer gewähren, wenn er vor demselben aufgefangen und sicher abgelagert würde. Die hierzu geeigneten Vorkehrungen zu treffen, ist die zweite und unbedingt die Hauptaufgabe des Dünenbaues. Diese fällt ganz in das Gebiet des Wasserbaues. Sie ist von der äußersten Wichtigkeit, insofern sie dahin gerichtet ist, den weitem Abbruch der Ufer zu verhindern, und diese sogar dem Angriffe der Wellen ganz zu entziehen. Außerdem werden hierdurch auch die Mündungen der Häfen in hohem Grade vor Versandungen geschützt, und endlich gewinnen nur hierdurch die Forst-Culturen auf den inneren Dünen einen geregelten und dauernden Fortgang. Den glänzendsten Erfolg, den man in der letzten Beziehung erreicht hat, findet man gerade auf denjenigen Uferstrecken, wo mit der größten Sorgfalt eine regelmäßig und ununterbrochen fortlaufende Vordüne am Strande gebildet ist, die in ihrer Gras-pflanzung die antreibenden Sandmassen immer auffängt, und dadurch mit mäßiger Nachhülfe sich dauernd verbreitet und erhöht. Vielfach betrachtet man den Dünenbau als gar nicht zum Wasserbau gehörig, er steht aber mit diesem in der innigsten Beziehung und für einen großen Theil der Küsten der Ostsee, so wie auch

anderer Meere, bildet er sogar den wichtigsten Abschnitt in dem Seeufer-Bau.

Endlich giebt es noch andre Arten von Ufer-Befestigungen, die zwar am offenen Meere nicht leicht vorkommen, die aber an Strommündungen und Meerbusen und solchen Ufern, wo ausgedehnte Umläufen oder Inseln davor liegen, sich vielfach wiederholen. Sie bewirken grossentheils den Schutz von niedrigem Terrain und gewöhnlich sogar von Marschboden. Sie schliessen sich daher unmittelbar an diejenigen Bauten an, welche bei Gelegenheit der Seeleiche bereits behandelt sind. Es soll daher mit ihrer Beschreibung der Anfang gemacht und zugleich derjenigen ähnlichen Anlagen erwähnt werden, die man zur Sicherung anderer, besonders wichtiger Uferstellen zur Ausführung gebracht hat.

§. 21.

Uferdeckungen.

Die unmittelbare Befestigung eines Seeufers hat gemeinhin nur den Zweck, den weitem Abbruch zu verhindern, ohne daß dabei auf die Bildung von Vorland oder auf die Entfernung einer tieferen Stromrinne Bedacht genommen wird. Eine solche Uferdeckung bleibt daher dauernd dem Angriffe des Meeres ausgesetzt. Sie muß besonders fest und sicher ausgeführt sein, wenn sie entweder ursprünglich schon sehr tiefes Wasser und vielleicht eine heftige Strömung vor sich hat, oder wenn die tiefe Stromrinne später sich ihr nähert. Um sie vor den Gefahren zu sichern, die im letzten Falle ihr drohen, pflegt man Einbaue oder Buhnen vor sie vortreten zu lassen, wodurch der Angriff auf die Köpfe von diesen übertragen wird. Hiervon wird im Folgenden die Rede sein. Die eigentliche Uferdeckung bezweckt vorzugsweise den Schutz gegen Wellenschlag, und die Methoden, wodurch dieser dargestellt wird, sind nach den verschiedenen Local-Verhältnissen wesentlich verschieden. Namentlich ist die Wahl der Constructionsart davon abhängig, ob Fluth und Ebbe statt findet, ob eine große Tiefe vor dem zu deckenden Ufer liegt, und ob der Boden aus festerem Gebirge, oder nur aus Sand oder Thon besteht.

Am häufigsten wiederholt sich der Fall, der an der Deutschen Nordsee-Küste vielfach vorkommt, daß nämlich die zu schützenden Niederungen aus fruchtbarem und zähem Klaboden bestehen, und ausgedehnte Sandbänke oder Watten davor liegen, auch wohl ganze Inselreihen den Wellenschlag wesentlich mäßigen und gemeinhin sogar die Annäherung eines starken Stromes verhindern. Diese Umstände sind ohne Zweifel überaus günstig, und erleichtern wesentlich die Ausführung, nichts desto weniger pflegt man selbst diesen leichten Kampf nur zu beginnen, wenn irgend ein Punkt oder eine Linie bedroht wird, die für die Sicherung eines größeren Landstriches oder eines bedeutenden Ortes von Wichtigkeit ist. Gemeinhin handelt es sich hierbei um die Erhaltung eines Deiches, dessen Vorland oder Aufsendeich man nicht dem Abbruche Preis geben darf, ohne ihn selbst der augenscheinlichsten Gefahr, und bei seinem Bruche die ganze durch ihn geschützte Niederung der Ueberschwemmung auszusetzen. Die Sicherung des Vorlandes ist daher keineswegs allein für den Eigenthümer desselben von Wichtigkeit, sondern der ganze Deichverband muß sich dabei betheiligen, und überdies tritt in diesem Falle auch nicht der bereits erwähnte Uebelstand ein, daß der Boden, bevor er vom Meere abgebrochen wird, sich mit Sand bedeckt und seine Fruchtbarkeit verliert. Die Marschen an der Deutschen und Niederländischen Küste bis zum Hellder, oder der nördlichen Spitze der Provinz Holland, haben keinen eigentlichen Strand und keine Dünen vor sich, sie leiden daher auch nicht von dem Sandfluge, wie die offenen Meeresküsten, und die davor liegenden Inseln.

Unter den bezeichneten Local-Verhältnissen kommt es nur darauf an, ein niedriges Ufer, das wenig höher ist, als die gewöhnliche Fluth, gegen Abbruch durch Wellenschlag zu schützen, während der Fuß desselben durch das davor liegende Watt, das bei jeder Ebbe trocken wird, gegen Grundbruch gesichert ist. Wo Letzteres nicht geschieht, und vielmehr eine tiefe Stromrinne dem Ufer sich nähert, wird die Anlage von Buhnen nothwendig. Nichts desto weniger ersetzen diese noch keineswegs die Uferdeckung, oder machen dieselbe entbehrlich, da der Wellenschlag auch zwischen den Buhnen seine verheerende Wirkung ausübt, und in ihrer Nähe der Sturm oft sogar noch stärker wird, als in solchen Strecken, wo sie gänzlich fehlen.

Bei der Wahl der Uferlinie wird man eben so, wie bei der ge von Seedeichen nicht durch die Rücksicht auf Erhaltung der igen Profilweite beschränkt, die bei Strombauten nie unbeach- leiben darf und oft vorzugsweise maafsgebend ist. Nur in dem e, wenn die Mündung eines grossen Stromes oder eines weit gedehnten Busens sehr beengt sein sollte, was jedoch wohl nie kommt, würde man selbst bei diesen Ufer-Einfassungen hierauf nicht nehmen müssen. Andere Umstände sind dagegen von so rwiegender Wichtigkeit, dafs man gemeinhin sich nur innerhalb r beschränkter Grenzen bewegen kann. Einerseits kommt es auf an, das noch vorhandene Vorland möglichst vollständig zu alten, und andererseits fehlt es an der nöthigen Erde, um das r künstlich herausrücken zu können. In den Marschen finden a keine Hügel und sonstige Erhöhungen, die man abgraben könnte, l wo man hier auch nur eine mässige Erniedrigung des Bodens nimmt, stört man schon die Entwässerung oder setzt die Fläche höherem Grade der Inundation aus und beeinträchtigt dadurch e Benutzung. Die Aushebung tiefer Pütten hinter einem Ufer, a der künstlichen Deckung bedarf, also dem Angriffe ausgesetzt , würde gleichfalls gefährlich sein, und eben so bedenklich wäre , in diesem Falle das davor liegende Watt durch Abgrabung noch r erniedrigen. Aber selbst hiervon abgesehen, müfste man Anstand nmen, ausgedehnte Flächen hinter solchem Ufer durch Anschüt- ung frischer Erde darstellen zu wollen. Der Kostenpunkt macht a ausserdem gewöhnlich ganz unmöglich, in dieser Weise das Ufer vorzurücken.

Hiernach mufs man sich darauf beschränken, das bestehende Ufer mit der Deckung zu verfolgen, indem man weder vor dasselbe vortritt, noch auch dahinter merklich zurückbleibt. Die Aufgabe besteht also nur darin, die kleineren Unregelmässigkeiten des Ufers auszugleichen, und für dasselbe eine möglichst gleichmässige Linie zu wählen. Wollte man alle kleineren Buchten und vorstehenden Ecken beibehalten, so würde theils die Länge des Deckwerkes und sonach auch die Kosten desselben ansehnlich vergröfsert werden, theils aber gäbe man hierdurch auch Veranlassung zur Verstärkung des Angriffes, also auch zur Erschwerung der Unterhaltung des Werkes. Die vortretenden Ecken sind vorzugsweise einem heftigen Angriffe durch die Wellen ausgesetzt, indem sie bei ver-

schiedenen Windrichtungen mit voller Kraft getroffen werden, während in den geraden Uferstrecken die Wellen nur bei einer Richtung besonders heftig aufschlagen. Außerdem verstärkt sich aber auch in dem Scheitel einer einspringenden Bucht der Wellenschlag, und sonach ist selbst die Bildung von Buchten für die Erhaltung des Ufers nachtheilig. Dazu kommt noch der Uebelstand, daß die tieferen Stromrinnen im Meere, eben so wie in den oberländischen Strömen, zum Serpentiniren geneigt sind, und in den Krümmungen die concaven Ufer angreifen. Die Ufereinfassung, wenn sie eine weite Bucht darstellt, kann zum Entstehn solcher gekrümmten Rinnen Veranlassung geben, falls eine getrennte Sandbank davor liegt, und alsdann würde die Deckung augenscheinlich in Gefahr kommen.

Hiernach begründet sich die Regel, die Uferlinien am Meere möglichst gerade zu halten, und sie in sanften Krümmungen in andere Richtungen überzuführen, wenn das Ufer entschieden solche annimmt. Man muß aber die Linie so legen, daß die kleineren abgeschnittenen Buchten und die vorspringenden Ecken sich möglichst ausgleichen, und mit der von den letzteren gewonnenen Erde die ersteren ausgefüllt werden können.

Steile Böschungen giebt man allerdings zuweilen den Ufern, wenn ihre Zurücklegung unmöglich ist. Dieser Fall kommt in den Niederlanden wiederholentlich vor, namentlich wenn der Aufsendeich schon vollständig verschwunden, und das Ufer bis an den Fuß des Deiches bereits abgebrochen ist, oder letzterer seine äußere Böschung ganz verloren hat. Von den Mitteln, die man in diesem Falle anwendet, ist früher (§ 16) die Rede gewesen.

In der Regel, und wenn es irgend geschchn kann, giebt man dem Ufer und sonach auch dem Deckwerke eine flache Böschung wenigstens mit dreifacher Anlage, doch ist es vortheilhafter, letztere vierfach oder fünffach zu machen, weil sie sich alsdann besser hält. Sie muß aber bis zu dem Wasse herabreichen, und wenn dieses nicht möglich sein sollte, in ihrem Fusse noch besonders gesichert werden. Andererseits erhebt sie sich wenigstens bis zum Maifelde, d. h. bis zur Oberfläche des berasteten Bodens.

Die Deckung des Ufers mit Strauch kommt zuweilen vor, doch ist eine solche am Meere meist sehr theuer, weil das Strauch in der Nähe nur spärlich wächst, überdiß ist dasselbe bei der abwechselnden Benetzung auch wenig dauerhaft, und endlich gewährt

nicht hinreichenden Schutz, wenn es nicht in sehr starken Lagen eingebracht wird. Beim Aufschlagen der Wellen dringt nämlich das Wasser mit Heftigkeit zwischen den einzelnen Reisern hindurch, es greift den Untergrund an, woher bald einzelne Stellen versinken und die ganze Deckung zerstört wird. Aus diesem Grunde legt man das Strauch zur Uferdeckung nur selten und, wie bei Herstellung schadhafter Deiche, nur in dem Falle anzuwenden, wenn es sich um augenblickliche Vertheidigung eines hart bedrohten Ufers handelt, und man kein andres Material beschaffen kann. Ähnlicher Weise sind zuweilen auch Verkleidungen der Ufer mit Steinen versucht worden, die aber noch weniger ihren Zweck erfüllen. Die Anwendung des Strauches als Unterlage für Steinrevetement kommt dagegen häufig vor, und bei der geschützten Lage, in der es in diesem Falle annimmt, zeigt es sich auch dauerhafter. Da es sich hierbei vorzugsweise die Steine zur Deckung des Ufers dienen, so wird die betreffende Construction später beschrieben werden.

Die flachere oder steilere Dossirung, welche den Außendeich von einem anderen höheren Terrain gegen das Meer begrenzt, ist, soweit sie von den Wellen stets getroffen wird, ganz kahl, und weder Weizen, noch auch Gras oder andere Pflanzen wachsen darauf. Der hohe Salzgehalt des Seewassers und die vielfache Benetzung verhindern das Gedeihen des Weidenstrauches und anderer Gebüsche, während die auflaufenden Wellen die Bildung des Rasens unmöglich machen. Auf den beinahe horizontalen Oberflächen der Wattenfluth man freilich verschiedene Kräuter, und eben so findet man auch am Fusse der Dünen vor einem Sandufer gewisse Strandgräser; der geneigte Rand, von dem hier die Rede ist, und auf dessen Abhänge es vorzugsweise ankommt, überzieht sich indessen nie mit einer Vegetation, und zu seiner Deckung können daher die gewöhnlichen Bepflanzungen nicht benutzt werden, die zur Erhaltung und Ausbildung der Fluszufer von so wesentlichem Vortheile sind.

Die einfachste und wohlfeilste Art der Deckung solcher Uferstellen, die aber freilich auch sehr vergänglich ist, besteht in einer Verkleidung mit Stroh, oder in der Stroh-Bestickung. Fig. 49 zeigt dieselbe, sowol in der Ansicht von oben (a), als auch im Längendurchschnitte (b). Man überdeckt das Ufer, soweit es gesichert werden soll, nachdem es geebnet und etwa mit dreifacher Lage abgeböschet ist, mit einer Lage Stroh. Die sämtlichen

Halme sind unter sich parallel und normal gegen die Richtung des Ufers gekehrt, so daß sie in derjenigen Richtung liegen, welche der stärksten Neigung entspricht. Diese Lage wird möglichst regelmäßig gebildet, so daß sie überall gleiche Stärke hat, auch die Strohlagen gehörig abwechseln. Die einzelnen Bunde Stroh müssen, nachdem sie gelöst und ausgebreitet sind, sowol nach oben, als nach unten verschoben werden, damit die Enden der Halme gehörig in die Lücken der eingreifen, und nicht etwa getrennte Streifen entstehen, zwischen welchen der Erdboden unbedeckt bliebe. Die Stärke dieser Lage braucht nicht größer zu sein, als daß sie nur so eben die Fläche vollständig deckt, wenn sie durch die darüber gestickten Strohlagen fest angedrückt wird. Man begnügt sich daher, ihr solche Dicke zu geben, daß das Stroh, so lange es lose liegt, durchschnittlich etwa 1 Zoll hoch ist. Kann man Haidekraut oder andre wertvolle Stoffe in der Nähe gewinnen, so pflegt man auch mit solchen die Böschung zuerst zu überdecken, und alsdann eine schwächere Strohlage darüber auszubreiten. Die letztere läßt sich in diesem Falle auch sehr vortheilhaft durch Rohr ersetzen, und oft begnügt man sich damit, eine Lage Rohr allein anzuwenden, doch muß dieselbe alsdann etwas stärker, als die Strohlage sein, weil die einzelnen Halme dicker und steifer sind, also größere Zwischenräume lassen, durch welche das Wasser den darunter befindlichen Erdboden angreifen könnte.

Die Bestickung geschieht durch Strohseile, die ohne weitere Vorrichtung auf der Baustelle aus freier Hand nicht geflochten, sondern nur gewunden werden. Bei ihrer Anfertigung kommt es vorzugsweise darauf an, daß die Enden der Halme gut verstoßen sind. Ein zu starkes Winden ist nicht vortheilhaft, weil alsdann das Stroh in den scharfen Biegungen, die es machen muß, leicht bricht oder reißt. Die Dicke des Seiles mißt gewöhnlich etwa $1\frac{1}{4}$ Zoll. Man legt solches Seil, das während seiner Befestigung durch einen besondern Arbeiter fortwährend verlängert, oder frisch angesponnen wird, quer über jene Strohlage, so daß es die Richtung der einzelnen Halme der letzteren kreuzt, und man befestigt dieses Seil, indem man es in geringen Abständen mit der Sticknadel faßt, und es in die Erde herabstößt. Die Figuren zeigen mehrere solcher Sticke oder Krampen, mit denen das Seil bereits befestigt ist, so wie

uf der rechten Seite diejenige Lage, die man dem Seile gemäß, um eine neue Krampe darzustellen.

e Sticknadel ist Fig. 50 in der Ansicht von zwei Seiten dargestellt. Sie besteht oft aus Eisen, häufig aber auch nur aus Holze. Im ersten Falle ist sie dauerhafter, dringt auch leichten Boden ein, doch beschädigt sie alsdann in höherem Grade das Seil und durchschneidet sie wohl gar, woher die hölzernen Nadeln den Vorzug verdienen. Die Nadel ist in beiden Fällen am untern Ende flach und nicht über einen halben Zoll dick, ihre Breite mißt daselbst zwischen 2 und 3 Zoll, je nachdem sie aus Holz oder Eisen besteht, und sie ist gabelförmig mit einer Versteifung versehen, worin das Strohseil reichlich Platz findet. Bevor die Nadel auf das Seil aufsetzt, zieht man letzteres soweit aus, als ohne zu zerreißen, bis zur beabsichtigten Tiefe herabgezogen werden kann. Es darf aber kaum erwähnt werden, daß die Spitze der Nadel sich parallel zu den Halmen der Strohlage und sonach zwischen denselben hindurchdringt, ohne sie mit anzuziehen und dadurch die Lage selbst in Unordnung zu bringen. Zum Herabstoßen des Strohseiles ist eine bedeutende Kraft erforderlich, und damit diese gehörig ausgeübt werden kann, muß die Nadel jedenfalls eine angemessene Länge haben, und mit einer bequemen Handhabe versehen sein. Man pflegt sie daher etwa 2 Fuß lang zu machen, und wenn sie aus Eisen besteht, sie am obern Ende mit einem Bügel zu versehen. Bequemer ist jedoch die in der Fig. 51 dargestellte Einrichtung, die man auch vielfach benutzt. Das obere Ende der Nadel ist nämlich mit einer hölzernen Scheibe von etwa 4 Zoll Durchmesser verbunden, und der Arbeiter stößt das Seil mit dieser Scheibe und bildet die Krampe, indem er sich auf diese Scheibe, wie auf einen Stuhl, setzt. Daß Uebung erforderlich ist, um das Seil mit dieser Nadel scharf anzuziehen, ohne es zu beschädigen, bedarf kaum Erwähnung. Die Arbeit schreitet so rasch vor, daß in der Mitte vier bis sechs Krampen durch einen geübten Arbeiter gemacht werden können, und indem mehrere Seile gleichzeitig gesponnen und vertikal werden können, so läßt sich diese Deckung in sehr kurzer Zeit ausführen.

Gewöhnlich erhält jedes Seil auf einen Fuß Länge drei Krampen, diese sind also von Mitte zu Mitte 4 Zoll von einander ent-

fernt. Eben so weit pflegen auch die einzelnen Seile von gelegt zu werden, woher auf jeden Quadratfuß neun Krampen. Wenn es sich nur um eine vorläufige Deckung handelt, die Strohseile in dem doppelten Abstände von einander gehen, her die Arbeit schon in der halben Zeit beendigt ist, und werden die fehlenden Seile dazwischen eingestickt. Diese Th ist insofern bequem und ohne Nachtheil, als man schon unmittelbar nach der Erndte, wo die Feldarbeiten die Kräfte noch sehr spruch nehmen, das Ufer leicht sichern und gegen die ersten stürme schützen kann, während vor dem Eintritt des Wint mehr Muße findet, um die Deckung zu vervollständigen.

Dafs die Krampen in den einzelnen Seilen versetzt ergibt sich schon aus der Figur, und es leuchtet ein, dafs festigung der Strohlage, worauf es doch allein ankommt, wesentlich gewinnt. Die Tiefe, zu welcher die Strohseile eisen werden, ist sehr verschieden, je nachdem der Boden mehr oder Sand enthält, und je nachdem der Wellenschlag schwach oder stärker ist. Unter günstigen Umständen begnügt man die Krampen 3 Zoll tief eingreifen zu lassen, während 6 Zoll noch nicht für ausreichend erachtet werden, und die 8 bis 9 Zoll Tiefe erhalten müssen.

Die Stroh-Bestickung ist keineswegs als dauerhaft anzuwiewohl sie, so lange das Material noch frisch ist, dem Ufer guten Schutz gewährt. Das Stroh verliert aber bei der abwechselnden Benetzung sehr bald seine Festigkeit, und wird alsdann von den Wellen zerrissen, woher die Unterhaltung einer Decke in jedem Jahre beinahe eben soviel kostet, als ob ständig erneut würde. Woltman giebt die Kosten einer neustickung zu 2 Thlr. für die Rheinländische Quadratruthe jährliche Unterhaltung aber nur um den siebenten Theil. Außerdem leidet die Bestickung auch sehr stark durch verwindendes und aufschlagendes Eis, und selbst wenn sie noch fest ist, kann sie diesem Angriffe nicht widerstehn. Man pflegt daher bei Ufern, die einer solchen Gefahr ausgesetzt sind, wo an dem Fuß der bestickten Flächen Reihen von Pfählen einzurücken, die etwa 1 Fuß mit den Köpfen vorstehn, und daher nicht mehr vom Eise getroffen werden und den Stofs desselben an sich nehmen. Unter andern Verhältnissen, wo die Benetzung nicht so

nach der Angriff im Allgemeinen schwächer ist, wie etwa
zeilen vom Rasen entblößten Stellen des Vorlandes und
auf den äußern Dossirungen der Deiche, zeigt sich die Stro-
hung oft viel vortheilhafter, und mehrfach habe ich in solchen
bemerkt, daß das Gras durch das Stroh hindurchwächst und
letzteres verfault, hat sich die früher entblößte Stelle wieder
em kräftigen Rasen überzogen.

el dauerhafter ist die Bedeckung des Ufers mit Steinen,
achtet der größeren Kosten der ersten Anlage immer mehr
g findet. Die Construction ist an sich sehr einfach, in-
ur eine Schicht Feldsteine auf das vorher regelmässig abge-
s Ufer gepackt wird. Man pflegt der Böschung meist eine
he Anlage zu geben, doch kommen zuweilen flachere und
elten auch steilere Böschungen vor. Je steiler indessen das
ansteigt, um so größer ist die Gefahr, daß die darauf liegen-
steine herabfallen. Man pflegt solchen Ufern, die einem be-
m starken Wellenschlage ausgesetzt sind, recht flache Böschun-
zu geben. Indem aber der Wellenschlag mit der Höhe des
standes zunimmt, und sonach der obere Theil eines Ufers
mal einem stärkeren Angriffe ausgesetzt ist, als der untere, so
man zuweilen dem obern Theile eine flachere Böschung als
antern, oder man bildet das Profil nicht nach einer geraden
, sondern nach einer Curve, deren hohle Seite abwärts gekehrt
Namentlich hat Woltman dieses wiederholentlich empfohlen,
denselben Vorschlag auf die äußern Böschungen der Deiche
dehnt. Diese Anordnung kann indessen in sofern nicht für
ad angesehen werden, als die Beschädigungen in der Nähe des
s ebensowol bei Uferdeckungen, wie bei Deichen, viel gefähr-
in ihren Folgen und zugleich viel schwieriger wiederherzu-
s sind, als wenn hoch liegende Stellen angegriffen werden, die
bald nach dem Eintritt der Ebbe sichtbar sind und alsdann
bessert werden können. Aus diesem Grunde dürfte das all-
in befolgte Verfahren, den Ufern in ihrer ganzen Höhe eine
hmässige Neigung zu geben, sich rechtfertigen, und eine
sichung davon wäre nur in sofern zulässig, als man die scharfe
e zwischen der Dossirung und der Krone vermeiden muß, weil
derselben die Steine zu leicht von den Wellen herausgeworfen
en. Wenn daher diese Kante nicht durch Pfähle oder auf andre

Art gesichert wird, so thut man wohl, die Böschung durch eine kurzem Bogen gekrümmte Fläche mit der horizontalen Krone zu verbinden. Fig. 51 zeigt eine gleichmäßige Böschung, Fig. 53 eine solche, die nach Woltman's Vorschlag oben flacher geneigt ist, unten, und Fig. 54 eine Böschung, die mit sanfter Krümmung in die Krone des Werkes übergeht.

Die Steindecke wird nicht leicht unmittelbar auf den natürlichen Boden gelegt, weil das Wasser, indem es durch die Fugen zwischen den einzelnen Steinen hindurchdringt, den letzteren angreifen und ausspülen, und dadurch die ganze Uferdeckung in Unordnung bringen würde. Man pflegt daher unter allen Umständen und selbst, wenn der Boden aus sehr zähem und festem Thon besteht, eine Unterlage anzubringen, welche den unmittelbaren Angriff des Wassers auf den Untergrund verhindert. Welcher Art dieser Angriff beim Wellenschlage erfolgt, ist leicht zu ersehen. Das heraufgeworfene Wasser fließt nämlich durch die Fugen der Steinböschung wieder zurück, und wenn es dabei keinen offenen Wege findet, so wirkt es mit einem der Niveau-Differenz entsprechenden Drucke auf den Untergrund und spült denselben aus. Es kommt sonach darauf an, entweder durch eine recht feste Unterlage, wie etwa durch Strauch, jene Wege immer offen zu erhalten, oder den natürlichen Boden so sicher zu bedecken, daß dem Angriffe ganz entzogen wird. Im letzten Falle muß aber die Zwischenlage aus so grobem Material bestehen, daß sie von dem Wasser nicht selbst fortgespült wird. Diese Rücksichten sind bei Sande wichtiger, als beim Thonboden. Vorläufig ist nur von letztern die Rede, aber obwohl derselbe dem Angriffe viel kräftiger widersteht, und daher die darauf liegende Steindecke sich im gemeinen besser erhält, als auf jenem, so muß dennoch auch für eine passende Unterlage gesorgt werden.

Das Material, welches man im vorliegenden Falle zu diesem Zwecke wählt, ist gewöhnlich Strauch, das man in dünnen Lagen etwa 4 bis 6 Zoll hoch über die Dossirung ausbreitet. Zuweilen wählt man dazu auch Haidekraut oder Haiderasen, die jedoch nicht so dauerhaft sind. Das Strauch verrottet aber nach einigen Jahren, und indem alsdann der Untergrund ausgespült wird, so kann sich der Eintritt dieses Zeitpunktes an dem unregelmäßigen Sinken einzelner Steine zu erkennen. Bei der alsdann erforderlichen

aratur des Deckwerkes kommt es nur auf die Ausebenung der chang und die Erneuerung des Strauches oder der sonstigen Un-ge an, indem die Steine vollständig wieder benutzt werden en. Wenn dieselben passende Grösse haben und sorgfältig ver-waren, auch die Instandsetzung nicht zu lange verschoben le, so geschieht es nicht leicht, daß ein merklicher Theil der e von den Wellen fortgespült wird, oder versinkt, und man rf daher gemeinhin nur eines sehr geringen Zusatzes von neuen en.

Diese vollständige Erneuerung der Unterlage kann man indessen ehn, wenn man groben Kies oder Bauschutt dazu verwendet. erer ist unter den localen Verhältnissen, von denen hier die e ist, gemeinhin nicht leicht zu beschaffen, dagegen kann man letzteren meist für mäßige Kosten aus der Nachbarschaft be-n, und seine Anwendung ist daher, wenn auch der Ankauf des mches noch wohlfeiler ist, doch in Betreff der Unterhaltung zu pfehlen. Dieser Bauschutt muß, wenn er den bezeichneten Be-gangen entsprechen soll, aus Ziegelbrocken und Stücken von tem Mörtel bestehn, und der Zusatz an solchen Bestandtheilen, im Wasser zergehn oder ganz locker sind, wie etwa Lehm, darf ht bedeutend sein. Bei Anwendung dieses letzten Materials kann an die Festigkeit der Steindecke noch wesentlich vergrößern, wenn na jeden Stein stark nachrammt, und ihm dadurch ein genau chließendes Lager giebt.

Was die Steindecke selbst betrifft, so besteht diese gemein-in und namentlich an der Deutschen Küste aus einer einfachen age von Granitgeschieben, wie solche im nördlichen Deutschlande a dem höheren aufgeschwemmten Boden vielfach vorkommen. Man rwendet statt derselben zuweilen auch Sandsteine aus Bornholm der Granit aus Schweden, und in beiden Fällen pflegen die Steine ieselich regelmäfsig behauen zu sein, so daß sie theils fester lie-pa, theils aber auch die Fugen weniger geöffnet sind, und daher ler Untergrund von dem durchdringenden Wasser weniger leidet. Adann braucht die Steindecke nur etwa 9 Zoll stark zu sein, wäh-and man ihr im ersten Falle eine durchschnittliche Stärke von we-igtens 12 Zoll, und oft sogar von 18 Zoll giebt. Die Kosten der as weiter Ferne bezogenen Steine sind indessen so bedeutend, daß an davon nicht leicht Gebrauch machen kann, vielmehr geschieht

dieses nur vor besonders fruchtbaren Marschen, deren Boden sich durch Wohlhabenheit auszeichnen. Die zuerst erwähnten Geschiebe pflegen ihren Zweck auch vollständig zu erfüllen; man diejenigen Steine, die kein sicheres Lager haben, zerlegt man, spaltet oder ganz verwirft, und dafür sorgt, daß alle Steine, die man verwendet, ungefähr von gleicher Höhe sind und recht geschlossen versetzt werden. Eine vollständige Abpflasterung wie ein Verzwicken der Fugen kommt hierbei nicht vor, weil der Untergrund zu weich und zu nachgebend ist, als daß die gemauerte Oberfläche sich dauernd erhalten liesse. Außerdem muß man auch darauf Rücksicht nehmen, daß bei der beschriebenen Construction vielfache Reparaturen ganz unvermeidlich sind, fast in jedem Jahre wiederholen, dieselben aber bei einer so dichten Verpackung der Steine sogar erschwert werden.

Bei heftigen Stürmen und starkem Wellenschlage werden häufig einzelne Steine herausgerissen, und indem alsdann die benachbarten Steine, welche zunächst oberhalb liegen und sich gegen die Wellen stützen, theils ihre Unterstützung verlieren, theils aber auch direct den Stößen der Wellen um so stärker getroffen werden, so pflegt bald gleichfalls nachzugeben, und in dieser Weise verliert die Uferböschung in kurzer Zeit einen großen Theil ihrer Deckung. Um mit die Beschädigungen dieser Art sich nicht zu weit ausbreiten zu lassen, so pflegt man die zu schützende Fläche durch dazwischen gesetzte Pfähle in einzelne Felder oder Caissons zu zerlegen. Die Abbildungen 51 und 52 zeigen diese Anordnung sowohl im Querschnitt als in der Ansicht von oben. Die erwähnten Pfähle, welche man Pfahl-Pfähle nennt, bestehen aus Eichenholz, und zwar aus schwachen runden Stämmen, oder, wenn solche nicht in genügender Anzahl zu beschaffen sind, werden sie aus Brettern geschnitten. Sie sind etwa 6 Fuß lang und 6 Zoll Durchmesser. Gewöhnlich stehen sie von Mitte zu Mitte 2 Fuß aus einander. Jedenfalls muß ihr lichter Abstand so groß sein, daß die Steine nicht leicht hindurchfallen können. Der Abstand der Pfähle in den Reihen und zwar in beiden Richtungen pflegt 6 bis 8 Fuß zu betragen. Indem die Pfahlköpfe nicht nur bis zur Oberfläche der Böschung heraufreichen, sondern gemeinhin noch etwa 3 Zoll vorragen, so gewähren sie den dazwischen gepackten Steinen unmittelbar einen wesentlichen Schutz, vorzugsweise verhin-

er eine weite Ausdehnung der Zerstörung, falls einzelne Steine aus dem Stoss der Wellen herausgeworfen werden sollten.

Die Beschädigungen, denen die Pfähle selbst ausgesetzt sind, sind meist unerheblich, und die Unterhaltung eines solchen Ufers ist nicht merklich dadurch vertheuert, dass in Zwischenzeiten von 20 Jahren die Pfähle erneuert werden müssen. Nichts desto weniger ist man von dieser Anordnung in neuerer Zeit dennoch zurückgekommen, weil man die Erfahrung gemacht hat, gerade durch diese Trennung der Felder Beschädigungen in der Steindecke veranlasst werden. Die Pfähle verhindern nämlich den regelmässigen Verband der Steine, und da man nicht kleine Lücken ausfüllen darf, so ist es viel schwieriger, alle einzelnen Felder dicht geschlossen auszufüllen, als die Dossirung ohne Unterbrechung regelmässig zu überdecken. Durch die Caissons wird daher zwar eine weite Ausdehnung der Beschädigungen verhindert, das Vortreten derselben aber befördert. Dazu kommt noch, dass ein Feld von seinen Steinen entblösst ist, die Wellen dasselbe leicht angreifen, indem sie gegen den senkrecht vortretenden Rand des nächsten Feldes schlagen und den Grund davor ausspülen. Es bilden sich alsdann sehr bedeutende Vertiefungen, bevor die Pfähle daneben nachgeben und die Steine aus den angrenzenden Feldern herabstürzen. Eine zusammenhängende Steindecke, die keine Pfahlreihen unterbrochen wird, ist insofern vortheilhaft, als bei dieser jede Lücke, die bald eine merkliche Vertiefung des Untergrundes veranlasst, sich mit den nächsten Steinen füllt, dadurch einigermaassen wieder eine schützende Decke erhält. Sie kann allerdings bei heftigem Wellenschlage zwar ein grösseres Loch in der Dossirung in Unordnung gerathen, aber die Vertiefungen werden doch mässiger und sind weniger gefährlich, als wenn man die Trennung in Felder die Beschädigungen auf einzelne Stellen beschränkt.

Die erwähnten Pfahlreihen sind dagegen als Einfassung der Steindecke von grosser Wichtigkeit, und können zu diesem Zwecke nicht entbehrt werden. Einerseits muss schon der Fuss der Steinbank, der sich an das davor liegende Watt anschliesst, geschützt werden. Die untere Steinreihe würde aber jeder sichern Unterbrechung entbehren, wenn die Einfassung hier fehlte. In den Figuren 53 und 58 ist diese Anordnung dargestellt. Um eine Vertie-

Diese Art der Verankerung ist in der That
 eine sehr einfache und billige. Die
 Steine sind nämlich durch die Eisen-
 stangen mit einander verbunden und
 können so leicht aus der Fuge heraus-
 gehoben werden. Die Eisen-
 stangen sind nämlich mit einem
 besonderen Ankerbolzen versehen, der
 in die Fuge des Steins einge-
 senkt ist. Dieser Bolzen ist mit
 einem besonderen Ankerbolzen
 versehen, der in die Fuge des
 Steins eingebracht ist. Dieser
 Bolzen ist mit einem besonderen
 Ankerbolzen versehen, der in die
 Fuge des Steins eingebracht ist.

Verpackung der Steine sog.

Bei heftigen Stürmen
 sind einzelne Steine heraus-
 geworfen, welche zunächst

an ihrer Unterseite

mit einer Weile aus

dem Boden heraus

gehoben werden

und dann

in die Fuge

zurückgebracht

werden.

Die

Steine

sind

mit

einer

schon

vor

der

Ver-

packung

der

Steine

ist

...

... Ste

... und sie m

der unregelmäßig

geöffnet, man pflegt

folgt, denn beim erst

ständig. Häufig wird

solche Granitstücke, die lei

schaben mit dem Hammer z

hierbei aber wieder in sehr k

denn die Zwicken, die schon be

in gleicher Weise wie der Ku

In neuerer Zeit verstreicht m

das eingeschüttet worden, mit Ceme

ment, das einige Zolle stark ist, nicht

ist er nicht dauerhaft, indem

die Steindecke in Bewegung

setzt. Dabei entsteht aber noch

ein wasserdichten Schluß

nach oben beim Gegen

werden kann, weil da

tritt. Zuweilen sieht man

Steine gehoben und herausge

nicht früher verstrichen

ndes nicht mehr zu besor-
 lit ausgespült werden
 ndes und festes
 nd schwer
 den, und
 unter einge-
 gen frei aus-

.. die 200 bis 600
 n. Es leuchtet ein,
 iwerer sein müssen, je
 des Wassers hängt sowol
 von dem Drucke ab, den es
 Wellenscheitels ausübt. Der
 die Geschwindigkeit ausdrücken,
 kann man ihn mit dem Drucke des
 Er ist nach den gewöhnlichen An-
 producte der getroffenen Fläche in das
 heit des Wassers. Es ergiebt sich hieraus,
 gleichen Widerstand leisten werden, wenn
 die Quadrate der Geschwindigkeiten, oder ihre
 sechsten Potenzen der Geschwindigkeiten sich
 Gesetz wurde schon von Brahms*) angedeutet,
 ausführlicher nachgewiesen und erläutert.**) Seine
 indessen schwierig, da man in diesem Falle für die
 der Erscheinung nur willkührliche Zahlenwerthe ein-

werden die Steinböschungen in ihrem untern Theile und
 ur Höhe der halben Fluth noch durch gewisse Schaal-
 pflanzen sehr wesentlich geschützt. Wenn das Ufer hin-
 ntiefen liegt, die den Wellenschlag wesentlich mäßigen,
 rbeiströmende Seewasser viele thonigen Theile enthält,
 r Seetang zwischen und auf den Steinen zu wurzeln,
 let, sobald er bei steigendem Wasser schwimmt, eine
 üllung der Böschung, die den Stofs der Wellen auffal-

lend mäßigt, und Beschädigungen verhindert. Sobald dieser Tang kräftig angewachsen ist, halten sich die Steindossirungen viel besser, als vorher. Beim Eisgange wird indessen oft in kurzer Zeit die ganze Vegetation abgestoßen. Wenn dagegen das Meerwasser reiner ist, so überziehn sich die Steine ungefähr in derselben Höhe mit einer Art Maler-Muschel, die besonders in den Fugen sich vorfindet, und bei ihrer Vermehrung große Klumpen bildet, welche die freien Räume vollständig schließen. Diese Muschel hat zwei congruente flache Schalen und erreicht selten eine größere Länge, als etwa von einem Zolle, aber sie haftet sehr fest an dem Steine, indem vier Paare Fäden von ihr ausgehn, die wie Wurzeln sie mit dem Steine verbinden. Besonders an der nördlichen Spitze und auf der westlichen Küste von Nord-Holland findet man diese Muscheln in großer Masse, und wenn sie auch nicht, einem guten Mörtel ähnlich, die Steine unter einander verbinden, so wirken sie doch in sofern sehr vortheilhaft, als sie die Fugen schließen, und dadurch das heftige Ein- und Ausströmen des Wassers und das Ausspülen des Untergrundes verhindern.

Fig. 53 zeigt noch die eigenthümliche Anordnung, daß die Steinböschung über das Maifeld heraufreicht und mit ihrer Krone eine Art von niedrigem Deiche bildet. Woltman schreibt dieses unbedingt vor, und verlangt, daß die Böschung 2 Fuß höher, als das dahinter liegende Terrain sein solle. Der Grund dafür ist aber nicht nur, daß man das Ueberschlagen der Wellen bis zu einer größeren Höhe verhüten will, sondern die Beschädigungen des Rasens und des ganzen Ufers durch die aufschlagenden Wellen werden auch sehr gemäßigt, wenn die Wiesenfläche dahinter mit Wasser bedeckt ist. Die erwähnte Erhöhung hat also den Zweck, das schnelle Zurückfließen des Wassers zu verhindern, und auf dem Ufer einen höheren Wasserstand zu halten. Derselbe muß sich freilich später wieder senken und der Rasen muß trocken werden, sobald das Meer ebbt, aber hierzu genügen einige Abfluß-Oeffnungen, die man hin und wieder im obern Theile der Böschung anbringt.

Diese Anordnung wurde zuerst an der untern Elbe vorgeschlagen und mit günstigem Erfolge eingeführt. Die Ufer neben Cuxhaven waren schon lange mit Steinkisten eingefast, wovon später die Rede sein wird. Diese erfüllten jedoch nur unvollständig ihren Zweck, denn die überschlagenden Wellen zerstörten den Rasen da-

und spülten den Boden aus, so daß das Deckwerk bald ganz stehen pflegte, worauf man nach einiger Zeit es wieder zurücklegte. In dieser Weise waren die Ufer und mit ihnen in anderthalb Jahrhunderten etwa 300 Ruthen weit zuwichen. Eine neue Zurücklegung war 1785 beantragt und 1786 bei der Anwesenheit eines Commissars aus Hamburg geschehen, als Woltman darauf aufmerksam machte,*) daß der Deich sich immer nur auf einen gewissen Abstand hinter den Maifeld ausdehnt, dieselben also das Maifeld besser schützen, als es nicht unmittelbar berühren, als wenn sie zurückgestellt werden. Er sprach ferner die Ansicht aus, daß das stehende Wasser den Deckwerken den Stoß der überschlagenden Wellen mittheile und sonach eine Erhöhung dieser Werke über das Maifeld, durch das übergetretene Wasser zurückgehalten wird, besonders nöthig sein würde. Dieser Rath, den Woltman zu einer Zeit gab, als er dem Wasserbau noch ganz ferne stand und nur bei seinem Aufenthalte in Cuxhaven die Wirkungen der Wellen mit Aufmerksamkeit beobachtet hatte, wurde auch berücksichtigt, und damals, noch später sind diese Deckwerke wieder zurückgelegt worden. Die Ueberhöhung des Deckwerkes, die im nächsten Jahr zur Ausführung kam, bezog sich aber nicht auf Steinconstructionen sondern auf den Holzbau. Sie ist in Fig. 57 dargestellt. Statt der natürlichen Steine wendet man auch vielfach zur Uferdeckung der niedrigen Ufer oder der Aufsendeiche, in gleicher Weise wie bei den Deichen selbst, gebrannte Steine oder Ziegel. Der Aufsendeich ist wegen seiner mäßigen Erhebung überhaupt jedesmal leichter zu vertheidigen, als die Deichböschung, denn bei ihm ist eine Beschädigung der Steindecke auch we-

Geschichte und Beschreibung der Wasserbauwerke im Amte Ritzebüttel. Hamburg 1801. Seite 75 wird darin unter Andeutung dieser Vorschläge nur gesagt, dieselben seien von anderer Seite gemacht worden. Der Verfasser dieser Schrift hat sich nicht genannt, es ist aber kein Anderer, als Reinhard Woltman, der spätere Wasser-Baudirector in Hamburg, dessen Bauten in Cuxhaven wesentliche Aenderung großentheils noch bestehn. Woltman war Secretär bei dem Lieutenant, der die aus 20 Mann bestehende Besatzung dieses Ritzebüttel commandirte. Jener Commissar war der Syndicus Schultze, Woltman's Schwiegervater, derselbe erkannte sogleich die klare Auffassung des jungen Mannes, löste sein bisheriges Dienstverhältniß und sorgte dafür, daß ihm die nöthige Unterstützung zu Theil wurde, um einige Jahre in Göttingen zu studiren.

niger gefährlich, als auf dem Schaardeiche. Die sehr schweren gebrannten Steine, von denen § 16 die Rede war, finden daher nicht leicht bei der bloßen Uferdeckung Anwendung.

Die gewöhnlichen Ziegel oder Klinker sind in den Marschen genden meist leichter zu beschaffen und wohlfeiler, als Feldsteine. Sie lassen sich auch dichter versetzen und schützen daher mehr den Untergrund, den man zuweilen sogar ganz unbedeckt läßt, was jedoch keineswegs zu empfehlen ist. Endlich läßt sich mit ihnen auch eine sehr gleichmässige Fläche darstellen, die weniger Unebenheiten zeigt, als jedes Pflaster aus rohen Steinen.

Vorzugsweise hat man darauf zu achten, daß die Steine recht fest sind, und weder durch abwechselnde Benetzung und Austrocknung, noch auch durch Frost leiden. Das äußere Ansehn und sonstige Proben lassen diese Eigenschaften nicht sicher erkennen. Jedenfalls müssen die Ziegel recht hart gebrannt, auch von sichtbaren Kalkstückchen frei sein. Eben so dürfen sie nicht, wenn man sie ins Wasser legt, dasselbe in großer Masse ansaugen und dadurch bedeutend schwerer werden. Wenn sie aber in diesen Beziehungen keine Besorgniß begründen; so läßt sich dennoch über ihre Dauerhaftigkeit nur durch den Versuch entscheiden, daß man sie zur Probe ein Jahr lang der Einwirkung der Fluth und Ebbe und des Wellenschlages aussetzt.

Die Ziegel haben vergleichungsweise gegen die Granitgeschiebe und sonstigen Steinblöcke den wesentlichen Nachtheil, daß sie leichter sind, und zugleich eine sehr große Angriffsfläche dem Stoße der Wellen entgensetzen, sobald irgend wo eine Lücke entstanden ist. Die Beschädigungen pflegen daher in einer Ziegelböschung sehr schnell und weit auszudehnen, auch kann man denselben durch die Bildung von Caissons nicht füglich vorbeugen, weil die Pfähle in ganz unangemessener Weise den Verband unterbrechen würden. Einzelne Bohlen oder Dielen, die man hochkantig dazwischen einstellen könnte, haben aber an sich wenig Festigkeit. Nichts desto weniger wird dieses Mittel doch zuweilen angewendet, indem in Entfernungen von mehreren Ruthen solche hochkantig verlegte Dielen, die zugleich als Chablonen dienen, die Ziegel-Böschung unterbrechen, und vom Fuße derselben bis zu ihrer Krone ansteigen. Dabei bildet sich jedoch eine lang ausgezogene Fuge in der Richtung, in welcher die Wellen auflaufen, und dieselbe giebt leicht

ung zu Beschädigungen, woher es vortheilhafter ist, diese
 hang des regelmässigen Verbandes zu vermeiden.

Grösse der Ziegel stimmt mit der sonst üblichen überein,
 häufig noch darunter, weil es vorzugsweise darauf an-
 als sie recht scharf gebrannt sind. Beim Versetzen stellt
 n Reihen parallel zum Ufer, und sorgt dafür, daß die
 der verschiedenen Reihen im Verbande sind, also jede
 l in der vorhergehenden, als folgenden Reihe durch einen
 ckt wird. Die Steine liegen niemals flach auf dem Bo-
 rn werden entweder hochkantig, oder wenn der Angriff
 stark ist, auch auf den Kopf gestellt. Das Profil Fig. 55
 Methoden mit einander verbunden, indem der obere Theil
 ung, der von der höheren Fluth getroffen wird, einem stür-
 llenschlage ausgesetzt ist, daher auch vorzugsweise gesi-
 len muß.

Interlage unter diesen Ziegelböschungen kann nicht füg-
 art werden. Das Strauch eignet sich hierzu aber nicht,
 ne zu unregelmässige Fläche bildet, dagegen ist Kies, Bau-
 idekraut u. d. gl. zu diesem Zwecke sehr wohl zu benu-
 in den stark bedrohten Ufern vor Eckwarden und Tos-
 der östlichen Seite des Jade-Busens, hat der Deichgräf
 neuerer Zeit mit grossem Vortheil zu diesem Zwecke eine
 ge Seetang benutzt, die dort leicht zu beschaffen ist, sich
 ausbreiten läßt, und den Untergrund vollständig bedeckt
 ausspülung sichert. Das Profil dieser Uferdeckung stellt
 r. Die Böschung hat hier eine vierfache Anlage.

falls muß die Ziegelböschung sowol oben, als unten ein-
 rden, und dieses geschieht immer durch Bohlen, die sich
 gegen Pfähle lehnen. Hierbei tritt jedoch der Uebelstand
 die Bohlen, wenn die Pfähle senkrecht eingerammt sind,
 senkrecht stehn, und sonach die anschliessenden Ziegel-
 h nicht mit der vollen Fläche, sondern nur mit der obern
 ntern Kante dagegen lehnen. An der obern Seite, wo die Be-
 ar mit der untern Kante erfolgt, wie Fig. 54 zeigt, entsteht eine
 nete Fuge, die man zwar mit Ziegelbrocken zu füllen pflegt,
 ch jedoch nicht sicher geschlossen werden kann. Sobald
 Steinreihe aber gelöst ist, so tritt für die zweite Stein-
 elbe Gefahr ein, und so lösen sich nach und nach die

Steine, und werden bald einzeln von den Wellen herausgeworfen. Bei der erwähnten Uferdeckung, die Fig. 55 zeigt, hat man diesen Uebelstande sehr zweckmässig dadurch vorgebeugt, dass man die Bohle der Böschung entsprechend keilförmig zugeschnitten hat, so dass sie sich eben sowol an die senkrecht eingerammten Pfähle, als auch an die schräggestellten Steine mit der vollen Fläche lehnt. Die Pfähle, welche die Bohle unterstützen, bestehen aber wieder aus Bohlenstücken, die sich unmittelbar berühren und eine 6 Fuß hohe dichte Wand bilden.

Am Fusse der Böschung ist das Klaffen der Fuge von geringerer Bedeutung, weil hier theils der Angriff der Wellen schwächer ist, theils aber auch die nach unten erweiterte Fuge ziemlich leicht mit zähem Thone ausgefüllt werden kann, den man vor dem Versetzen der Steine längs der Bohle abstreicht, wie Fig. 54 angegeben ist. Fig. 55 zeigt auch in dieser Beziehung eine andre und bessere Anordnung, indem die Pfähle hier nicht senkrecht, sondern schief eingerammt sind. Ihre Stellung wird dabei freilich nicht so regelmässig, doch ist dieser Umstand aus dem angeführten Grunde weniger bedenklich. Der weiche Boden setzt auch dem Eindringen des Pfahles keinen erheblichen Widerstand entgegen, woher die schräge Richtung keine bedeutende Erschwerung beim Rammen veranlasst.

Die Ziegelböschungen erfordern eine sehr sorgfältige Unterhaltung, weil Beschädigungen darin sich in kurzer Zeit weit ausdehnen pflegen. Man darf aber nicht allein darauf achten, dass einzelne Steine, die vielleicht zerbröckelt oder zufällig von den Wellen herausgeworfen sind, möglichst bald durch andre ersetzt werden, sondern die ganze Oberfläche der Böschung muss auch immer möglichst eben bleiben, weil die an sich weit leichteren und daher weniger widerstandsfähigen Steine nur dadurch gehalten werden können, dass die Wellen auf ihnen keine Angriffspunkte finden.

Die in Rede stehende Construction wird oft noch in anderer Weise bedroht; wenn nämlich vor dem Fusse Steinschüttungen angebracht sind, so kann es nicht fehlen, dass einzelne Steine, besonders wenn bei heftigen Stürmen der Wasserstand sich nur wenig über die Watt erhebt, durch die Wellen in Bewegung gesetzt und auf die Böschung geworfen werden. Hierbei leiden die Ziegel sehr stark, indem diejenigen Steine, die getroffen werden, zerbrechen. A

am Grunde fehlt in der beschriebenen und Fig. 55 dargestellten Schüttung auch diese Schüttung, und indem die einzelnen, von den Wellen ausgeworfenen Ziegel in gleicher Weise, wie die Feldsteine in der Schüttung, wirken, so werden bei diesem Ufer sogar mit grosser Sorgfalt alle ganzen Ziegel oder grössern Stücke derselben, die in kurzer Zeit abzurunden pflegen, und daher bei den Reparaturen nicht weiter benutzt werden können, aufgelesen und beseitigt.

Der Fuss der Böschung wird aber dadurch gesichert, dass er nicht über das Watt vortritt, zum Theil sogar unter dasselbe herabsinkt. Ein wesentlicher Schutz wird für den untern Theil der Böschung aber wieder dadurch erreicht, dass der Seetang auf den Pfählen sehr kräftig zu wachsen und sich auszubreiten pflegt, wodurch der Angriff der Wellen sich in hohem Grade mässigt und Beschädigungen oft in langer Zeit fast gar nicht vorkommen.

Der obere Rand der Ziegelböschung stützt sich gegen die bereits erwähnte Bohle, an welche die sämtlichen Steine der oberen Böschung sich lehnen. Jedenfalls bedarf hier das anschliessende Ufer nicht einer besondern Deckung, weil es sonst ausbrechen könnte, wenn jene Bohle zugleich mit den Pfählen, die sie halten, ihren ursprünglichen Stand verlieren würde. Das Aufbringen loser Steine ist neben den Ziegelböschungen nicht zulässig, weil dieselben leicht mit den Wellen herabrollen, und die Ziegel dabei leiden würden. Man sieht daher nicht selten, wie auch Fig. 54 zeigt, eine Strohbedeckung. Diese kann sich entweder stumpf an die Einfassungsböschung anschliessen, wodurch die regelmässige Oberfläche nicht unterbrochen und der scharfe Absatz vermieden wird, oder sie kann auch unter die Ziegelböschung greifen. Der letzte Fall ist in der Fig. 54 dargestellt. Ein Deckwerk dieser Art, wobei jedoch die Stufe niedriger war, wurde am Schlusse des vorigen Jahrhunderts bei dem Hafen von Amsterdam und zwar zwischen der Hafenmündung und der Kugelbake versuchsweise ausgeführt. Woltman sagt, dass es sich gut gehalten, auch weniger als die Feldstein-Böschung gekostet habe, und dass die letztere daselbst später vorzugsweise in Anwendung gekommen und zwar wieder in der Art, dass sie sich oben an eine Stroh-Bestückung anschloss.

Bei dem mehrfach erwähnten Ufer an der Jade, Fig. 55, hat man ein anderes Verfahren gewählt, das theils in der Anlage weniger kostbar war, theils aber auch sich sehr gut bewährte. Soweit

Steine, und werden bald einzeln von den Wellen herausgeworfen. Bei der erwähnten Uferdeckung, die Fig. 55 zeigt, hat man diesen Uebelstande sehr zweckmäfsig dadurch vorgebeugt, dafs man die Bohle der Böschung entsprechend keilförmig zugeschnitten hat, so dafs sie sich eben sowol an die senkrecht eingerammten Pfähle, als auch an die schräggestellten Steine mit der vollen Fläche lehnt. Die Pfähle, welche die Bohle unterstützen, bestehn aber wieder aus Bohlenstücken, die sich unmittelbar berühren und eine 6 Fuß hohe dichte Wand bilden.

Am Fusse der Böschung ist das Klaffen der Fuge von geringer Bedeutung, weil hier theils der Angriff der Wellen schwächer ist, theils aber auch die nach unten erweiterte Fuge ziemlich dicht mit zähem Thone ausgefüllt werden kann, den man vor dem Versetzen der Steine längs der Bohle abstreicht, wie Fig. 54 angegeben ist. Fig. 55 zeigt auch in dieser Beziehung eine andere und bessere Anordnung, indem die Pfähle hier nicht senkrecht, sondern schief eingerammt sind. Ihre Stellung wird dabei freilich nicht so regelmäfsig, doch ist dieser Umstand aus dem angeführten Grunde weniger bedenklich. Der weiche Boden setzt auch dem Eindringen des Pfahles keinen erheblichen Widerstand entgegen, woher die schräge Richtung keine bedeutende Erschwerung beim Rammen veranlafst.

Die Ziegelböschungen erfordern eine sehr sorgfältige Unterhaltung, weil Beschädigungen darin sich in kurzer Zeit weit ausdehnen pflegen. Man darf aber nicht allein darauf achten, dafs einzelne Steine, die vielleicht zerbröckelt oder zufällig von den Wellen herausgeworfen sind, möglichst bald durch andere ersetzt werden, sondern die ganze Oberfläche der Böschung mufs auch immer möglichst eben bleiben, weil die an sich weit leichteren und daher weniger widerstandsfähigen Steine nur dadurch gehalten werden können, dafs die Wellen auf ihnen keine Angriffspunkte finden.

Die in Rede stehende Construction wird oft noch in anderer Weise bedroht; wenn nämlich vor dem Fusse Steinschüttungen angebracht sind, so kann es nicht fehlen, dafs einzelne Steine, besonders wenn bei heftigen Stürmen der Wasserstand sich nur wenig über die Watt erhebt, durch die Wellen in Bewegung gesetzt und auf die Böschung geworfen werden. Hierbei leiden die Ziegel sehr stark, indem diejenigen Steine, die getroffen werden, zerbrechen. A

Am Grunde fehlt in der beschriebenen und Fig. 55 dargestellten Bohlung auch diese Schüttung, und indem die einzelnen, von den Wellen ausgeworfenen Ziegel in gleicher Weise, wie die Feldsteine durch die Schüttung wirken, so werden bei diesem Ufer sogar mit großer Sorgfalt alle ganzen Ziegel oder grössern Stücke derselben, die in kurzer Zeit abzurunden pflegen, und daher bei den Reparaturen nicht weiter benutzt werden können, aufgelesen und beseitigt. Der Fuß der Böschung wird aber dadurch gesichert, daß er wenig über das Watt vortritt, zum Theil sogar unter dasselbe herabsinkt. Ein wesentlicher Schutz wird für den untern Theil der Böschung aber wieder dadurch erreicht, daß der Seetang auf den Böschungen sehr kräftig zu wachsen und sich auszubreiten pflegt, wodurch der Angriff der Wellen sich in hohem Grade mäßigt und Beschädigungen oft in langer Zeit fast gar nicht vorkommen.

Der obere Rand der Ziegelböschung stützt sich gegen die bereits erwähnte Bohle, an welche die sämtlichen Steine der obersten Reihe sich lehnen. Jedenfalls bedarf hier das anschließende Ufer einer besondern Deckung, weil es sonst ausbrechen könnte. Diese Bohle zugleich mit den Pfählen, die sie halten, ihren ständigen Stand verlieren würde. Das Aufbringen loser Steine ist neben den Ziegelböschungen nicht zulässig, weil dieselben leicht mit den Wellen herabrollen, und die Ziegel dabei leiden würden. Man trifft daher nicht selten, wie auch Fig. 54 zeigt, eine Strohbedeckung. Diese kann sich entweder stumpf an die Einfassungsbohle anschließen, wodurch die regelmäßige Oberfläche nicht ungeschädigt bleibt und der scharfe Absatz vermieden wird, oder sie kann unter die Ziegelböschung greifen. Der letzte Fall ist in der Fig. 55 dargestellt. Ein Deckwerk dieser Art, wobei jedoch die Stufe vorhanden war, wurde am Schlusse des vorigen Jahrhunderts bei dem Hafen von Jade und zwar zwischen der Hafenmündung und der Kugelbohle versuchsweise ausgeführt. Woltman sagt, daß es sich gut bewährte, auch weniger als die Feldstein-Böschung gekostet habe, und daß die letztere daselbst später vorzugsweise in Anwendung kam und zwar wieder in der Art, daß sie sich oben an eine Bohle anstieß.

Bei dem mehrfach erwähnten Ufer an der Jade, Fig. 55, hat man ein anderes Verfahren gewählt, das theils in der Anlage weniger kostbar war, theils aber auch sich sehr gut bewährte. Soweit

bei Fangedämmen geschieht, vor die erste Kiste noch eine zweite, niedrigere, und zwar wird diese auf der Seeseite angebracht, ebenfalls mit Steinen gefüllt. Fig. 57 *a* und *b* zeigt diese Construction in der Seitenansicht und im Grundrisse, doch gehört die pultförmige Erhöhung ursprünglich nicht dazu. Das Werk wurde in der Mitte des vorigen Jahrhunderts ausgeführt und schließt auf der östlichen Seite an die Hafenmündung an. Seine horizontale Krone liegt nur in der Höhe der gewöhnlichen Fluthen, das Holz hatte sich lange Zeit hindurch, vom Wurm wenig gerührt, meist gut gehalten. Die äußere niedrige Kiste war dagegen durch den Wurm sehr stark angegriffen. Der pultförmige Aufbau wurde, wie bereits erwähnt, auf Woltman's Vorschlag im Jahre 1770 hinzugefügt, und wenn man denselben sowie die ganze ursprüngliche Construction noch erhält, so geschieht dieses wohl aus keinem andern Grunde, als aus Pietät für Woltman.

Die steile Wand einer Steinböschung veranlaßt nicht nur eine heftige Brandung, wobei das herabstürzende Wasser den Rand des Aufsendeiches beschädigt, sondern sie zieht auch die Küstensenkung an, und hierdurch pflügt sich eine tiefe Rinne vor ihr aus, die ihre Erhaltung sehr erschwert. Man sieht sich daher fast jedesmal gezwungen, noch eine Steinschüttung vor ihr anzu bringen, die immer aufs Neue verstärkt werden muß, so oft eine neue Vertiefung eingetreten ist.

Fig. 58 *a* und *b* zeigt eine wesentlich verschiedene Deckungsart, wobei nicht sowol eine Steinpackung, als vielmehr eine freistehende Holzwand den Stoß der Wellen empfängt. Sie wurde bereits im Anfange dieses Jahrhunderts ohnfern der östlichen Grenze des zu Ritzebüttel gehörigen Ufers angewendet, und bei der weiteren Fortsetzung des Uferschutzes hat man auch in neuerer Zeit dieselbe Construction beibehalten. Eine Wand, bestehend aus abschließend eingerammten starken Pfählen, wird durch 2 Riegel an der Landseite verstärkt. Der eine befindet sich nahe über der Oberfläche des Wattes und der andere 2 Fuß über der gewöhnlichen Fluth. Jeder einzelne Pfahl ist durch einen starken Bolzen mit jedem Riegel verbunden. Um das anschließende Ufer gegen Beschädigungen durch das überschlagende Wasser zu sichern, ist eine Steinschüttung dahinter. Auf der Seeseite ist dagegen eine vollständige Steindossirung mit Unterfüllung angebracht, die sich

ne Reihe von schwachen Schutzpfählen lehnt. Es muß bemerkt werden, daß diese Werke dem Wellenschlage nicht so stark ausgesetzt sind, als die weiter westwärts belegenen, von denen früher die Rede war.

Die bisher beschriebenen Deckungen umfassen keineswegs alle möglichen Constructions-Arten, die man auf dem etwa 2500 Rußlangen Elbufer des Amtes Ritzebüttel sieht. Aus demselben hervorgehen außer verschiedenen Bühnen oder Stacken, die zum Theil in sehr großer Tiefe hinausreichen, zwei besonders wichtige Werke vor. Der eine derselben ist die Mündung des Hafens, die außerhalb des Wattes liegt, und auf dem anderen steht eine Mauer, die Kugelbaake genannt. Letztere befindet sich auf dem scharfen Deiche zwischen dem eigentlichen Elbdeiche und dem Steinmarnen Deiche, der zur Seite der hohen Watter-Watte sich erstreckt und sich bald an die Geest anschließt. Von den Hafen-Deckungen ist hier nicht die Rede, aber bis nahe an die Kugelbaake erstreckt sich der Außendeich heran und da derselbe nur ein sehr schmales Watt vor sich hat, so bedurfte er eines viel kräftigeren Schutzes. Fig. 59 zeigt das Profil der hier ausgeführten Ufer-Deckung, die jedoch an der am weitesten vorspringenden Spitze vor der Baake selbst noch viel massenhafter ist, auch von verschiedenen gegen einander verstreuten Holzwänden umschlossen wird. Die massive Quader-Mauer besteht aus sehr großen, bis 2000 Kubfuß schweren und roh bearbeiteten Werkstücken, die möglichst dicht im Verbande ohne Anwendung von Mörtel schichtenweise aufgepackt sind. Woltman bemerkt über die in gleicher Weise an der Hafenmündung befindliche rohe Mauer, daß zuweilen einzelne Steine von den Wellen gelöst werden, daß dieses aber dennoch unter allen die solideste Uferbefestigung sei. Beim Versetzen der Mauer ist der Raum dahinter mit Kies und festem Thon ausgefüllt. Die auf der Seeseite befindliche verholzte Pfahlwand, die den offenen Zwischenraum von mehr als 2 Fuß Breite frei läßt, hat den Zweck, den Stoß der Wellen etwas zu mäßigen. Endlich wäre noch zu erwähnen, daß man in neuerer Zeit vor dem Steinmarnen Deiche, also im Schutze der weit ausgedehnten Wattflächen, noch eine andre, ganz verschiedene Deckungsmethode versucht hat. Dieses ist eine concave Mauer, von der schon früher die Gelegenheit der Sicherung der Seedeiche die Rede war, wenn

solchen die äußere Böschung ganz fehlt (§ 16). Das frühere Deckwerk an derselben Stelle, das flach geneigt war, veranlasste beim Auflaufen der Wellen sehr starke Beschädigungen in dem Aufsendeiche, der hier nicht mehr aus dem festen Klaiboden besteht, vielmehr schon sehr sandhaltig ist. Um das Aufwerfen großer Wassermassen zu verhindern, wählte man die in Fig. 60 dargestellte Constructionsart. Die Außenfläche der Mauer bildet im Profile einen vollen Quadranten, der mit dem Radius von 10 Fuß beschrieben ist. Der Bogen besteht aus behauenen Graniten, die in Mörtel versetzt auf Béton-Bettung ruhen. Seewärts lehnt sich dieses Mauerwerk an eine leichte Bohlwand, die wohl nur dazu diente, um den Béton sicher einbringen zu können. Der Versuch mit dieser Construction soll sich nach mehrjährigen Erfahrungen vollständig bewährt haben. Indem die gekrümmte Fläche in die Vertikal-Ebene übergeht, so wird das Wasser beim Auflaufen der Wellen lothrecht in die Höhe geworfen und trifft nur wenig den Aufsendeich. Als ich vor einigen Jahren diesen Bau sah, hatte sich das Ufer dahinter bis unmittelbar an die Mauer sehr gut gehalten, auch hatte das davor liegende Watt sich nicht vertieft.

Indem von den Steindossirungen die Rede gewesen ist, die nach cylindrischen Flächen gekrümmt sind, so dürfte hier die passendste Stelle sein, der vor wenig Jahren auf der Insel Norderney zum Schutze des Seebades ausgeführten Uferdeckung zu erwähnen. Die localen Verhältnisse weichen freilich von den so eben behandelten wesentlich ab. Das Ufer, das man hier gedeckt hat, ist eine am offenen Meeresstrande belegene Düne; der Untergrund besteht ohne Zweifel, wie vor der Insel Wangeroog, aus Marschboden, wenigstens lassen die Thonkugeln, die man auch dort nicht selten auf dem Strande findet, dieses vermuthen, weil dieselben nur von jenem Untergrunde herrühren können, der wahrscheinlich stellenweise vielleicht tief unter Wasser sich steil erhebt und von den Wellen nicht nur abgespült, sondern in größeren Massen abgebrochen wird. Die natürliche Düne wurde bei jedem heftigen Sturme stark angegriffen, so daß sie von Jahr zu Jahr weiter zurückwich, wodurch das sehr besuchte Seebad endlich selbst in Gefahr kam. Um dieses zu erhalten, ist auf der nordwestlichen Seite der Insel in der Länge von gegen 300 Ruthen die Deckung der Düne ausgeführt, welche Fig. 61 *a* im Durchschnitte und *b* in der Ansicht

an oben zeigt. Die zuerst gewählte Construction, wonach die gro-
nen Quader der Dossirung nur auf ein Bette von zähem Thon oder
in versetzt wurden, erwies sich nicht als haltbar, und statt des
teren mußte eine Bettung von Béton gewählt werden.

Der Strand hat neben der Steinböschung die Höhe von 4 Fuß
er gewöhnlichem Hochwasser, seewärts fällt er mehrere hundert
nien weit sehr sanft und regelmäfsig ab, doch soll diese flache
böschung plötzlich durch die davor liegende grofse Tiefe unterbro-
en werden. Die bis jetzt ausgeführte Anlage hat nur den Zweck,
dahinter liegende Düne zu sichern, während zur Erhaltung des
randes noch buhnenartig vortretende Werke in Aussicht genom-
en sind.

Der wichtigste Theil des Baues ist die 15 Fuß breite gekrümmte
Dossirung. Sie ist unten concav, im obern Theile dagegen convex
und besteht aus sorgfältig bearbeiteten und reihenweise versetz-
ten Sandsteinquadern von 2 Fuß Höhe. Diese Böschung lehnt sich
an ihrem Fusse an eine Pfahlwand, vor der eine besonders hohe
Mauerschicht hochkantig aufgestellt ist. Eine ähnliche, aber noch
höhere Schicht begrenzt auf der obern Seite diese Dossirung. Diese
sämtlichen Steine sind in Béton sehr sorgfältig und in gehörigem
Abstände versetzt. Das Bétonbette ist etwa 2½ Fuß stark.

An diese Dossirung schließt sich abwärts ein 16 Fuß breites
Arbeitsbette, das der Neigung des Strandes entsprechend sehr sanft
nach der See abfällt. Es besteht aus einer etwa 3 Fuß hohen
Schotterpackung, die wieder mit 2 Fuß hohen, jedoch nur roh bear-
beiteten Quadern überdeckt ist. Da diese letzteren nur lose auf-
gelagert sind, so sind sie noch durch vier Reihen Flechtzäune gegen das
Erweichen und Ausheben gesichert.

Um zu verhindern, daß die aufschlagenden Wellen die Düne
mittelbar hinter der erwähnten Dossirung angreifen, so ist
er auf 12 Fuß Breite ein hochkantiges Klinkerpflaster angebracht,
das auf einer dünnen Bétonschicht ruht, und das sich am obern Ende
gegen eine hochkantig eingesetzte Klinkerschicht lehnt. Hinter der
letzteren ist die Düne sanft ansteigend planirt und mit Strandhafer
bepflanzt.

Wenn der Aufsendeich sehr unregelmäfsig abgebrochen ist, und
ein breites Watt davor liegt, so kommt es nicht nur darauf an, den
weiteren Abbruch zu verhindern, sondern auch die umschlossenen

tieferen Buchten zur Verlandung zu bringen, und einen regelmäßig begrenzten Aufsendeich darzustellen, der zugleich mit einer soliden Uferdeckung umgeben ist. Zu diesem Zwecke wird das Deckwerk in der beabsichtigten Uferlinie bis über das Watt hinausgeführt, so daß es in Form eines niedrigen Deiches die zu erhöhende Fläche umschließt. Es muß vollständig gesichert sein, weil es einem starken Angriffe ausgesetzt ist, auch seine äußere Böschung den spätern Uferschutz bilden soll. Seine Krone muß nicht nur das gewöhnliche Hochwasser, sondern auch den Aufsendeich einige Fuß hoch überragen, damit dieser aus den Niederschlägen des eintretenden Fluthwassers sich in voller Höhe ausbilden kann. Endlich muß das Werk mit mehreren Oeffnungen versehen sein, durch welche das trübe Fluthwasser einströmen und ebenso auch das Wasser während der Ebbe abfließen kann. In dem umschlossenen, und daher wenig bewegten Wasser erfolgt bei jeder Fluth ein Niederschlagen der erdigen Theilchen, und dieselben sind dem Abspülen durch Wellenschlag viel weniger ausgesetzt, als auf dem offenen Watten. In gewöhnlichen Fällen verhindert schon der Deich das Uebertreten der Wellen, und bei höheren Fluthen und starken Winden mäßigt er sehr bedeutend die Kraft des Wellenschlages.

Eine Anlage dieser Art, die bereits sehr sichtbare und günstige Erfolge herbeigeführt hat, ist das sogenannte Braaker Uferwerk bei Cuxhaven, das Fig. 62 im Profile darstellt. Das Watt, das ursprünglich vor und hinter diesem Werke gleiche Höhe hatte, befand sich 7 Fuß unter gewöhnlichem Hochwasser, während der Aufsendeich nahe 2 Fuß über das letztere sich erhob. Die Krone, die in eine scharfe Kante ausläuft, wurde noch 2 Fuß höher gelegt, also auf 4 Fuß über gewöhnliches Hochwasser. Die Oeffnungen, in Abständen von etwa 100 Fuß angebracht, hatten 2 Fuß lichte Weite. Sie waren seitwärts durch leichte Bohlwerke eingeschlossen und in der Höhe des gewöhnlichen Hochwassers mit Bohlen überdeckt, so daß die Krone des Werkes darüber fortlief und zur Zeit der Sturmfluthen keine Stelle vorhanden war, die einem besonders starken Angriffe ausgesetzt gewesen wäre.

Die ganze Construction ergibt sich aus der Zeichnung. Die äußere Böschung hat $2\frac{1}{2}$ fache, und die innere $1\frac{1}{2}$ fache Anlage. Der Kern des Werkes ist aus der Klaierde des Wattes aufgeschüttet,

wobei aber mit Rücksicht auf die zu erwartende Senkung eine beträchtliche Ueberhöhung angebracht werden mußte. Der Fuß des Werkes wurde auf beiden Seiten sogleich mit Strauch gedeckt, und über demselben, so wie vorzugsweise über dem mittleren Theile, eine Lage von Ziegelbrocken und Bauschutt aufgebracht. Letztere war in der Mitte $\frac{3}{4}$ Fuß stark. Eine Reihe eichener Pfähle von 7 Fuß Länge und 6 Zoll Durchmesser befindet sich in der Krone, und da diese Pfähle nur 2 Fuß von einander entfernt sind, so wurden noch 2 Gänge aus Bohlen daran genagelt, um die beiderseitigen Dossirungen voneinander zu trennen. Außerdem befinden sich in der äußern Böschung noch drei und in der innern zwei Pfahlreihen. Es ist jedoch nur Kiefernholz verwendet, auch sind die Pfähle am Anschluß derjenigen am Fusse der innern Dossirung nur 6 Fuß lang und 6 Zoll stark. Die Steindecke endlich besteht aus schweren Geschieben, die auf der äußern Böschung 18 und auf der innern 15 Zoll hoch sind. Vor dem Fusse der letzteren liegt endlich eine Schüttung von losen kleineren Steinen.

Es kann nicht fehlen, daß das Wasser, welches an bestimmten Stellen stets aus- und einfließt, tiefe Rinnen oder Baljen hier bildet. Solche waren in diesem Falle auch wirklich entstanden, indem je bei der zunehmenden Erhöhung des Bodens die ein- und ausfließende Wassermenge sich fortwährend vermindert, so ist nicht zu sorgen, daß die Einrisse sich vergrößern, vielmehr darf man erwarten, daß sie mit der Zeit geringere Dimensionen annehmen werden, und wenn endlich die beabsichtigte Erhöhung im Allgemeinen eingetreten ist, so hindert nichts, diese Rinnen durch unmittelbare Verfüllung mit Erde, die man von dem äußern Watt entnimmt, vollständig auszugleichen, indem zugleich die Oeffnungen in den Werken geschlossen werden.

Eine Anlage, die der beschriebenen sehr ähnlich ist, wurde vor mehreren Jahren auch ohnfern der Mündung der Jade ausgeführt. Da es hier sehr heftige Angriffe durch den Wellenschlag besorgen mußten, auch das Watt stellenweise nur geringe Ausdehnung vor diesem Bau behielt, so schien die so eben beschriebene Construction in mancher Beziehung nicht hinreichend gesichert. Zum Zwecke erhielt die äußere Böschung 4fache und die innere 2fache Anlage, auch wurde zwischen beiden noch eine 12 Fuß breite Schüttung angebracht. Endlich mußte der ganze Kern, sobald er an-

geschüttet war, sogleich mit Strauch überdeckt werden, und um dieses schon vor dem Aufbringen der Steindecke, also während die Erdschüttung noch nicht fest lagerte, gegen Zerstörung zu sichern, so wurden auch die Pfahlreihen in bedeutend geringeren Entfernungen angebracht.

Eine der wichtigsten Uferdeckungen, die jemals ausgeführt worden, ist diejenige, die man in Nord-Holland neben dem Dorfe Petten auf eine sehr große Länge zur Sicherung des dahinter belegenen, nur aus Sand bestehenden Seedeiches erbaut hat. Fig. 74 zeigt dieselbe. Sie steht indessen in inniger Verbindung mit den davor liegenden Höftern oder Einbauten, welche die Annäherung der großen Tiefe verhindern sollen, und es erscheint daher angemessen, ihre Beschreibung mit der der letzteren zu verbinden.

Endlich müssen noch diejenigen Constructions-Arten erwähnt werden, welche die Sicherung solcher Uferstrecken bezwecken, vor denen keine Watte oder Sandflächen liegen, die also gemeinhin eine größere Tiefe unmittelbar vor sich haben. Namentlich werden hier die Uferdeckungen an der Ostsee zu berücksichtigen sein, wo kein merklicher Wechsel des Wasserstandes in Folge der Fluth und Ebbe stattfindet.

Uebersichtlich ist die Deckung des 140 Fuß hohen Ufers vor dem Leuchthurme Arcona auf der Insel Rügen. Die Kreide geht an dieser Stelle in eine sehr zähe und feste Thonablagerung über. Der Boden ist daher von solcher Beschaffenheit, daß er vom Wasser nicht durchdrungen wird, auch das darüber fließende Wasser ihn wenig angreift, daß aber wohl ein starker Wellenschlag größere Massen löst und bei der steilen Dossirung, die er angenommen hat, auch in Folge der Wirkung der Quellen dasselbe in den oberen Theilen geschieht. So erfolgte ein langames Zurückweichen dieses Ufers, was sich an den Kreidefelsen oben, unter der Burg Arcona, sehr deutlich zu erkennen gab. Als der Leuchthurm vor etwa dreißig Jahren erbaut wurde, mußte demnach darauf Bedacht genommen werden, die weitere Annäherung der See zu verhindern. Dieses ist in der Art geschehn, daß man aus den Granitgeschieben, die in großer Anzahl und in großen Dimensionen am Fusse liegen, eine Art Pflaster gebildet hat, welches die etwa 30 Grade gegen den Horizont geneigte Böschung bis zur Höhe von 20 Fuß über dem Meeresspiegel überdeckt. Die

ine halten mehrere Cubikfuß, und für ihre Sicherung
ise dadurch gesorgt, daß man ihnen durch Abstechen
ndes gut schließende Lager gegeben hat, auch nicht
en zwischen ihnen gelassen sind. Außerdem lehnt der
nböschung sich gegen eine Reihe kurzer Pfähle. Eine
vor wird theils durch die hier noch liegenden Granit-
vorzugsweise wohl durch den Kreideboden verhindert,
asser große Festigkeit behält. Diese Deckung hat ih-
ollständig erfüllt, und die daran vorkommenden Be-
sind sehr unbedeutend.

Einigen andern Stellen der Pommerschen Küste hat
Punkte, deren Erhaltung besonders wichtig erschien,
ig der hohen thonigen Ufer zu sichern begonnen. Vor-
hört hieher der Streckelberg, etwa 3 Meilen westlich
nde, auf dem eine Landmarke steht, die für die Schiff-
fser Bedeutung ist. Die hier zuerst ausgeführte Ufer-
ügte indessen nicht, und es mußte daher eine große
ue noch davor gelegt werden. Hiervon wird später
1.

östlichen Seite von Swinemünde, etwa in der Mitte
mmen und Treptow, scheint dagegen das vor einigen
te Steindeckwerk den Fuß des 80 Fuß hohen Thon-
chend zu sichern, wenn dadurch allein auch nicht der
obern Theiles der steilen Erdwand verhindert werden
nahe am Rande des Ufers steht die Kirche von Hof,
Einsturze derselben vorzubeugen, wurde die Deckung
ie aus einer Packung von sehr märsigen Granitgeschie-
: Unterlage von Strauch besteht, und von einer Pfahl-
blossen ist. Der Strand ist davor seitdem nicht abge-
vielmehr etwas an Ausdehnung gewonnen. Zwischen
es Deckwerkes haben die Quellen aus dem Ufer eine
: Thon eingespült, und auf demselben wuchert sehr
sblättrige Huflattich (*tussilago petasites*), der die Ober-
s scheint, sehr vollständig deckt. Um das Ufer darüber
: Seekreuzdorn (*hippophaë rhamnoides*) angepflanzt, der
er dem Deckwerke sehr gut angewachsen ist, und der
thonigen und steilen Ufer der Ostsee überzieht und
ch schützt. Endlich sind zur Seite und vor dem Deck-

werke auf dem Strande noch Dünengräser gepflanzt, nämlich auf den niedrigen Stellen, die von den Wellen vielfach erreicht werden, Strandweizen (*elymus arenarius*) und auf den höheren, Strandhafer (*arundo arenaria*). Auch diese Gräser waren nach Wunsch angewachsen und hatten die Ablagerung des Sandes befördert.

Wenn man ein Ufer, das nur aus Seesand besteht oder doch nur in geringem Maasse thonige Beimengung enthält, durch ein Deckwerk sichern will, so kommt der bereits erwähnte Umstand wesentlich in Betracht, daß die Wassermasse der aufschlagenden Welle nur zum kleinsten Theile darüber zurückfließt und vorzugsweise sich zwischen den Steinen und über dem Untergrunde hindurchzieht. Es bildet sich also hier eine abwärts gerichtete starke Strömung, wobei der Sand vielfach mit fortgerissen wird, und sonach leicht Einrisse und Lücken entstehen, in welche die Steine herabsinken.

Die in Fig. 63 dargestellte Construction, wonach das Deckwerk in einer einzigen Steinlage besteht, ist auf sandigem Untergrunde durchaus unzulässig. Man kann derselben auch dadurch keine Haltbarkeit geben, daß man ein Kies- oder Strauchbette darunter anbringt, oder daß man sie vielleicht sehr flach geneigt ausführt. Sie hält sich nur, wenn man dem abfließenden Wasser künstlich eine weite Zwischenräume eröffnet, daß dasselbe gar nicht veranlaßt wird, seine Bewegung bis zum Untergrunde fortzusetzen und denselben anzugreifen. Hierzu dient die in Fig. 64 angegebene Construction. Die ganze Steinböschung, soweit sie von den Wellen getroffen wird, muß auf einer Steinpackung ruhen, die sich bis unter den Meeresspiegel fortsetzt. Die Zwischenräume in derselben sind hinreichend weit, um die ganze aufgeschlagene Wassermasse dem Meere wieder zuzuführen, und sonach werden hierdurch die erwähnten Beschädigungen vollständig vermieden. Das westliche Ufer vor Pillau ist mit Stein-Böschungen eingefast, die sehr verschiedene Neigungen haben. Ein Theil war mit dreifacher Anlage vor kurzer Zeit sehr sorgfältig ausgeführt, und obwohl er bei seiner mehr geschützten Lage dem Wellenschlage weniger ausgesetzt war, so wurde er doch in einem heftigen Sturme im Jahre 1826 vollständig zerstört, während eine viel steilere Böschung mit ein- und einhalbfacher Anlage daneben, die auch viel härter getroffen wurde, sich ganz unversehrt erhielt. Die Ursache der verschiedenen

; aber augenscheinlich in der verschiedenartigen Unter-
diese aus groben Steinen bestand, die tief genug herab-
onnten die Wellen den Einsturz der Böschung nicht ver-

hende Bemerkung bezieht sich allein auf den obern Theil
fassung. Solche Steinböschung kann auch gegen veran-
reihen, Steinkisten u. dgl. gelehnt werden. Letzteres war
Zeit bei den Ostsee-Häfen nicht ungewöhnlich, und man
i dieser Anordnung den Vorthail, daß alles Holz ent-
ändig vom Wasser bedeckt bleibt, oder doch so wenig
gt, daß es nie vollständig austrocknet und daher seine
sehr lange behält. Holz-Constructionen dieser Art eig-
ach zu Hafendämmen, und indem sie bei diesen vorzugs-
endung gefunden haben, so empfiehlt es sich, ihre Be-
bei Gelegenheit der letzteren zu geben. Dasselbe gilt
dem Senkstückbau, wovon jedoch schon hier erwähnt wer-
daß die Anordnung der Senkstücke bei Uferdeckun-
verschieden von derjenigen ist, die man bei Hafendäm-
bei frei liegenden Einbauen wählt.

mensionen der Senkstücke werden nach der Neigung des
mmt, und es hindert nichts, ihnen an einer Seite eine
öhe, als an der andern zu geben. Hierdurch lassen sich
lmäßigkeiten des Bodens leicht ausgleichen. Es ist je-
nothwendig, die Vorsicht in dieser Beziehung zu weit
da eines Theils einzelne dazwischen oder vor dem Ufer
läume sehr bequem und ganz sicher durch das Senkma-
füllt werden können, andern Theils aber auch eine mäg-
ng in der Oberfläche der Senkstücke ohne Nachtheil ist,
die Abweichung von der Horizontal-Ebene nicht so groß
der Kies oder die Steine, die man zur Versenkung be-
die zur Bildung der Böschung dienen, von dem Stücke
. Wichtiger ist es, darauf zu achten, daß die verschie-
en der Senkstücke, die über einander aufgebracht wer-
den den Stößen überdecken, und sonach einen guten Ver-
h darstellen.

beginnt in diesem Falle, wie bei allen sonstigen Ufer-
nothwendig ist, mit einer sorgfältigen Tiefenmessung und
e Quer-Profile in dem Abstände von einigen Ruhten von

einander. In die Zeichnung derselben trägt man die beabsichtigte Krone des Deckwerkes oder die Linie des regulirten Ufers und die äussere Böschung ein. Letztere hat gemeinhin eine zwei- bis dreifache Anlage. Steiler wählt man sie gewöhnlich nicht, weil sonst die Stücke zu wenig vor einander vortreten, und sonach die auf den äussern Rändern liegenden Steine zu leicht herabfallen würden. Auch könnte die sehr steile Böschung zu einer starken Vertiefung Veranlassung geben, falls zu Zeiten eine heftige Strömung vorbeiginge. Fig. 65 zeigt ein solches Deckwerk mit zweifacher Anlage im Querschnitt.

Bei Anordnung der verschiedenen Senkstück-Lagen ist der mittlere Wasserstand zu berücksichtigen, unter welchen die Ostsee nur wenig, und nur auf kurze Zeit herabzusinken pflegt. Alles Strauchwerk, also mit Einschluss der Oberflächen der Senkstücke, muß nach erfolgter Compression wenigstens 1 Fuß unter diesem Niveau bleiben. Hiervon ausgehend, trägt man in alle Profile die nöthigen Senkstück-Lagen ein, von denen jede etwa 4 Fuß hoch ist. Die größten Unregelmässigkeiten des Grundes werden schon durch die verschiedene Dicke der untern Lage ausgeglichen. Man darf jedoch die Stücke nicht etwa in einen scharfen Keil auslaufen lassen, vielmehr fordert die Bequemlichkeit und Sicherheit der Construction, daß die Dicke des noch nicht comprimirten Stückes überall wenigstens 3 Fuß mißt. Wenn dabei die Regelmässigkeit des Baues auch zu leiden scheint, so darf man nicht vergessen, daß die Senkstücke weiche und biegsame Massen sind, die sich allen Unebenheiten der Unterlage anschliessen und außerdem sehr stark comprimirt werden. Ueberdies muß das Beschwerungsmaterial in grosser Masse aufgebracht werden, und mit demselben füllen sich nicht nur die Fugen, sondern es bietet auch jedesmal Gelegenheit, die vorhandenen Vertiefungen auszugleichen. Es darf kaum erwähnt werden, daß man ausser diesen Querprofilen auch eine Situationszeichnung mit Angabe der verschiedenen horizontalen Tiefenlinien aufnehmen muß, und nach der letzteren werden die Längen der Senkstücke in den verschiedenen Lagen bestimmt. Dabei muß der Verband, oder die Ueberdeckung jeder Stossfuge beachtet werden, auch sind die Fugen wenigstens 1 Fuß, und in tieferen Lagen bis 2 Fuß breit anzunehmen, weil die Stücke derselben Lage mit Sicherheit sich nicht näher an einander bringen lassen. Das Senkmaterial wird

hin in solcher Höhe aufgebracht, daß es den Raum anfüllt, und die Compression des beschwerten Senkstückes frei wird. Man pflegt anzunehmen, daß das Stück, welches schon beim Abbin-
was comprimirt wurde, später zwei Drittheile der Höhe behält, hiernach muß die Schicht des Senkmaterials halb so hoch, als comprimirtes Senkstück sein. Dieses gilt jedoch nur für schwache Belastungen, außerdem ist aber auch die Beschaffenheit des Senk- und des Senkmaterials dabei von wesentlichem Einflusse. Wasser fällt von dem Letzteren in das Stück hineinfällt, um so stärker comprimirt sich dieses.

Die Breite jedes Stückes wird so gewählt, daß sein oberer Rand nach erfolgter Compression die beabsichtigte Böschung noch berührt und sich rückwärts gegen das natürliche Ufer lehnt. Dies jedoch ohne Nachtheil, wenn dazwischen auch ein bedeutender Raum frei bleibt, denn Letzterer kann, insofern er vollständig mit leichtem Material, also etwa mit Sand ausgefüllt

Die Senkstücke müssen mit den vorderen Rändern von der Böschung soweit entfernt sein, daß die Steindossirung sie vollständig berührt. Hiervon macht nur die untere Lage eine Ausnahme, wo die Dossirung abschneidet. Man läßt zwar zuweilen die Steinhüttung noch weiter vortreten, da jedoch in diesem Falle die Hüttung nur auf dem Sande ruhn würden, und letzterer beim Wellen fortgespült wird, so wäre zu besorgen, daß sie bald ver-

Was die Ausführung betrifft, so versenkt man zunächst die einzelnen Lagen übereinander, indem man jede einzelne mit dem erforderlichen Beschwerungs-Material überdeckt. Die Steindossirung pflegt man aber nicht sogleich anzuschütten, weil es eine Bequemlichkeit gewährt, beim spätern Versetzen des obersten Lagers der Böschung und beim Ueberpflastern derselben, diejenigen Senkstücke, welche sich hierzu nicht eignen, auf die Dossirung zu werfen und hierdurch die letztere unter Wasser darzustellen. Außerdem legt man den Senkstücken gern während einer längeren Zeit, wenigstens während eines Winters, eine recht starke Belastung auf, dieses geschieht mit den geringsten Kosten, indem man das ganze Steinquantum auf die obere Lage bringt, und es so lange liegen läßt, bis der Bau nach vollständiger Compression ge-

hörig geordnet und abgepflastert wird. Um das Pflaster in seinen Füsse zu sichern, lehnt man dasselbe, wie die Figur zeigt, gegen eine Reihe von schwachen Pfählen, die in die Senkstücke eingerammt sind, und welche man gemeinhin Caissons-Pfähle nennt, wenn auch nicht wirkliche Caissons oder getrennte Felder in der Steindecke vorkommen.

Die Pflastersteine müssen so groß und schwer sein, daß sie von den Wellen nicht leicht ausgehoben werden, und dieses wird am sichersten dadurch vermieden, daß das Versinken einzelner Steine verhindert oder jedem Steine ein möglichst sicheres und gut schließendes Lager gegeben wird. Indem gemeinhin große und gesprengte Blöcke angewendet werden, so empfiehlt es sich, die Steine mit den ebenen Flächen aufliegen zu lassen. Der Bau erhält dadurch freilich schon sogleich ein etwas unregelmäßiges Ansehn, indem die unebensten Flächen aufwärts gekehrt sind, aber wenn das Entgegengesetzte geschieht und man die ebenen Flächen aufwärts kehrt, so kann das Lager nicht gehörig gesichert werden, und die Unregelmäßigkeit wird bald viel größer, als im ersten Falle. Daß man vorragende Theile der Steine, die den Schluß verhindern würden, durch Abschlagen beseitigt, bedarf kaum der Erwähnung, doch muß wieder daran erinnert werden, daß es ganz zwecklos ist, die Fugen zwischen den Steinen durch eingetriebene Zwicke oder durch aufgeschütteten Kies zu füllen, weil eins, wie das andre, beim Wellenschlage sogleich ausgewaschen und fortgespült wird.

§. 22.

Einbaue vor Aufsendeichen.

Die Bauwerke, von denen hier die Rede sein soll, stimmen in ihrer Anordnung und ihren Wirkungen sehr nahe mit den Bühnen an den oberländischen Strömen überein. Dieselbe Benennung würde daher auch für diese Art der Seebauten die angemessenste sein, wenn sie irgendwo an den Meeresküsten üblich wäre. Dieses ist aber nicht der Fall, denn außer der ganz allgemeinen Bezeichnung, die zur Ueberschrift gewählt ist, und welche bereits Woltman eingeführt hat, giebt es kein Wort in der deutschen Sprache, das die

ganze Classe dieser Bauwerke umfaßt. Je nachdem sie in Holz, in Strauch oder mit einer Steindecke ausgeführt sind, erhalten sie verschiedene Benennungen. Ein Einbau aus starkem Holze heißt ein Höft, aus Strauch und schwächeren Pfählen ein Stack, und wenn das Werk aus Faschinen gepackt, gehörig beschwert und mit Steinen oder in andrer Weise abgedeckt ist, so nennt man es eine Schlenge.

Die Einbaue sollen die Ufer vor denjenigen Beschädigungen sichern, welche aus der Nähe einer großen Tiefe entspringen. Indem diese Tiefe aber durch den Strom veranlaßt und erhalten wird, der sich längs der Küste hinzieht, und die in Rede stehenden Werke ihn abweisen, indem sie den nächst liegenden Theil seines Schlauches sperren, so dienen sie gewissermaassen auch zur Regulirung der Strömungen im Meere. Namentlich ist dieses der Fall, wenn hohe Watte oder andre Untiefen vor dem Ufer liegen, zwischen welchen einzelne vertiefte Rinnen sich hindurchziehen, die zur Zeit der stärksten Fluth und Ebbe kräftig durchströmt werden. In dieser Beziehung stimmt sonach auch der Zweck der Einbaue am Meere mit dem der Buhnen an den Strömen überein, aber ein wesentlicher Unterschied beider beruht darin, daß die Strom-Regulirung, welche man durch die Buhnen herbeiführen will, nur das Mittel zu einem entfernteren Zwecke ist, nämlich zur Erzeugung der für die Schifffahrt erforderlichen Tiefe. Dieser Zweck liegt dagegen bei den Anlagen, von denen hier die Rede ist, niemals vor, weil das Meer schon die hinreichende Tiefe hat, und die Schifffahrt immer um so sicherer ist, je weiter das tiefe Fahrwasser sich von dem Ufer entfernt. Unmittelbar in den Mündungen der Ströme kann freilich auch die Bildung eines tiefen Fahrwassers sich als Bedürfnis herausstellen, und manche bauliche Anlagen veranlassen, die diesen Einbauten nicht unähnlich sind. Letztere gehören indessen theils nicht in diesen Abschnitt, der von der Sicherung der Meeresufer handelt, theils aber pflegt man in solchem Falle nicht sowol Buhnen, als Parallelwerke auszuführen, die das Fahrwasser zur Seite gleichmäßig begrenzen. Dieses sind vorzugsweise die Hafendämme oder Molen, von denen später die Rede sein wird. Außerdem findet zwischen den Einbauten am Meere und an den Strömen noch der wesentliche Unterschied statt, daß die Entfernung, bis zu der die letzteren vortreten dürfen, durch die Breite bedingt wird,

die das Strombette behalten, und bis zu der es auch eingeschränkt werden muß, wenn der Zweck der Stromregulirung erfüllt werden soll. Am Meere dagegen giebt es für die Einschränkung keine Grenze, und man kann die Werke bis zu jeder beliebigen Entfernung verlängern, ohne daß man besorgen darf, irgend eine nachtheilige Profil-Beschränkung zu veranlassen. Damit die Werke sich aber möglichst gegenseitig schützen und unterstützen, und der durch sie zurückgedrängte Strom sich regelmässig ausbilde, müssen ihre Köpfe in eine angemessen gewählte Linie fallen. Man kann eine solche nicht mehr Uferlinie nennen, weil es nicht leicht gelingt, das Ufer bis an sie auszudehnen, vielmehr gemeinhin die Einbaue dauernd ihre freie Lage behalten, und man mit ihren Wirkungen schon sehr zufrieden sein muß, wenn sie nur den weiteren Abbruch des Wattes oder Strandes verhindern, oder im äußersten Falle einige Erhöhung desselben zur Folge haben.

Die Einbaue sind im Allgemeinen am wirksamsten und mälsigen vorzugsweise die Strömung und den Wellenschlag vor dem Ufer, wenn sie recht lang sind, oder wenn jene durch ihre Köpfe gelegte Streichlinie recht weit vortritt. Die Schwierigkeiten und Kosten des Baues nehmen aber theils mit der Länge und theils mit der Tiefe in so hohem Grade zu, daß man den Abstand jener Linie vom Ufer jedesmal auf das geringste Maass beschränken muß. Dieselbe Rücksicht darf auch bei Beurtheilung der Unterhaltungskosten nicht unbeachtet bleiben, denn die Werke sind viel stärkeren Zerstörungen ausgesetzt, wenn sie bis zu grösseren Tiefen hinausreichen.

Außer diesen Andeutungen läßt sich im Allgemeinen über die Wahl der Streichlinie wenig sagen. Eine sorgfältige Tiefenmessung und besonders die genaue Ermittlung des Randes der tieferen Rinne wird erkennen lassen, wie weit diese Linie mindestens vorgeschoben werden muß, und wie die Kosten für den Bau sich stellen, je nachdem man den Strom weiter zurückdrängt, oder ihn nur nothdürftig vom Ufer abhält. Indem jedoch die Gefahr wesentlich vergrößert wird, wenn der Strom in scharfer Krümmung sich dem Ufer nähert, so daß Letzteres auf seiner convexen Seite liegt, oder die Concave bildet, so muß man besonders in diesem Falle die Einbaue soweit zu verlängern suchen, daß die Krümmung sich mälsigt oder ganz aufhört. Auch dürfte zu empfehlen sein, daß man

nicht nur da, wo gerade die Gefahr droht, solche Werke erbaut, sondern in gleicher Art, wie bei Strom-Correctionen geschieht, eine regelmäßige Begrenzungs-Linie darstellt, die sich zu beiden Seiten an das bestehende Ufer anschliesst, und in dieses ausläuft. Man hat indessen nur in sehr seltenen Fällen eine solche systematische Anordnung gewählt, vielmehr gewöhnlich wegen der grossen Kosten sich darauf beschränkt, diejenigen Stellen zu decken, welche gerade bedroht wurden, so dass die Werke plötzlich vor das Ufer weit vortreten. Wenn es auch nicht in Abrede zu stellen ist, dass die beiderseitigen Anschlüsse des Buhnensystems an die Ufer weniger dringend sind, und in Bezug auf den nächsten Zweck sogar entbehrlich erscheinen, so ist dennoch ihr Einfluss auf jene mittleren und wichtigsten Werke nicht zu verkennen, die durch sie einigermaassen gedeckt werden. Vorzugsweise ist diese Anordnung aber in sofern vortheilhaft, als dadurch der Strom neben dem Ufer geregelt wird, und seine plötzlichen Einbiegungen gegen dasselbe verschwinden.

In vielen Fällen muss man sich damit begnügen, den Strom nur wenig von dem Ufer entfernt zu halten, weil die Kosten längerer Werke bei der grossen Tiefe, die durchbaut werden müsste, ganz unerschwinglich erscheinen. Dieses ist namentlich der Fall, wenn das Ufer das offene Meer begrenzt, wenn also weder Watten, noch hohe Sandbänke davor liegen. An der Niederländischen Küste hat man verschiedentlich den Angriff des Meeres in dieser Art abzuweisen versucht, doch immer nur da, wo ein weiterer Abbruch im allgemeinen Interesse verhindert werden musste, also namentlich, wenn bedeutende Orte oder Seehäfen dicht dahinter liegen, oder wo die natürliche Dünenkette bereits durchbrochen war, und man durch künstliche Mittel, die noch eines besondern Schutzes bedurften, den Eintritt der höchsten Fluthen in die Niederungen verhindern musste.

Woltman ist der Ansicht, dass eine Buhne, die ein Ufer schützen soll, um so länger sein muss, je grösser die Tiefe ist. Eine solche Beziehung lässt sich gewiss nicht in Abrede stellen, und am wenigsten, wenn es darauf ankommt, das Ufer gegen starken Wellenschlag zu sichern. Das ganze System der neben einander liegenden Einbaue würde aber höchst unregelmässig ausfallen, wenn man die Länge jedes einzelnen Werkes allein nach der Tiefe bestimmen wollte, die zufälliger Weise zur Zeit des Baues daselbst

statt findet. Die Forderung, daß die Einbaue durch eine angemessen gewählte Linie begrenzt werden, muß daher immer maßgebend bleiben. Man kann indessen hiermit auch sehr wohl die eben angedeutete Bedingung verbinden, indem letztere nur auf die Ermittlung der größten Länge bezogen wird. Hiernach würde für diejenige Stelle, wo die große Tiefe dem Ufer sich am meisten nähert, die Lage der Streichlinie bestimmt werden, zu beiden Seiten würde man diese aber so zu ziehn haben, wie die erste Bedingung mit Rücksicht auf die möglichste Ermäßigung der Kosten es fordert. Mehrere von diesen Einbauten würden daher mit Rücksicht auf die Tiefe, die sie erreichen, eine überflüssige Länge erhalten, doch dürfte man diese nicht vermindern, weil der Strom regelmäßig begrenzt werden muß.

Nach Woltman*) bestimmt sich die Länge eines Einbaues am Meere in der Art, daß sie ein bestimmtes Vielfaches der Niveau-Differenz zwischen dem Watt und der Sohle der Stromrinne betragen muß. Die Größe dieses Factors ist ohne Zweifel von manchen äußern Umständen abhängig, und wenn diese besonders günstig sind, so kann man den Factor gleich Vier, oder auch wohl gleich Drei setzen. Bei einer frei liegenden Küste, und besonders wenn eine starke Strömung vorbeizieht, muß man dagegen ein weit größeres Verhältniß wählen, und Woltman empfiehlt für Localitäten ähnlich denen der Küste des Amtes Ritzbüttel, den Factor gleich Zehn bis Zwölf zu setzen.

Es ist vortheilhaft, diese Werke schon früher zu erbauen, ehe sie bei der Länge, die sie nach vorstehender Regel erhalten, die tiefe Stromrinne wirklich erreichen. Sie treffen also noch vollständig auf das Watt, wodurch ihre Ausführung außerordentlich erleichtert wird. Sie verhindern demnächst auch die weitere Erniedrigung des Wattes, veranlassen vielleicht sogar einige Erhöhung desselben, aber den Abbruch des Wattes oder die fernere Annäherung der tieferen Stromrinne an das Ufer können sie nicht früher abweisen, als bis ihre Köpfe von dieser Rinne wirklich erreicht sind. Ab dann tritt hier eine große Vertiefung ein, und die Köpfe müssen durch Steinschüttungen so gesichert werden, daß sie nicht selbst in Gefahr kommen.

*) Beiträge zur hydraulischen Architectur. II. Seite 175.

Die Entfernung der einzelnen Werke von einander hängt so, wie bei den oberländischen Strömen, von verschiedenen Umständen und namentlich davon ab, ob die Stromrinne zu scharfen Krümmungen geneigt ist. Wenn dieses der Fall ist, oder wenn eine Rinne nur geringe Breite hat, also vielleicht ein hoher Grund der gegenüber liegenden Seite sie begrenzt, der sie nach dem Hinüberdrängt, so müssen die Werke ganz unabhängig von Länge ziemlich nahe liegen. Dieses ist wenigstens nothwendig, wenn man die Absicht verfolgt, den Strom recht regelmässig am Ufer vorbeizuführen. Andererseits leidet es indessen auch kein Zweifel, dass ein Einbau um so sicherer das Ufer schützt, je seine Wirksamkeit sich auf eine um so grössere Länge des Ufers erstreckt, je weiter er vor dasselbe vortritt. Man pflegt bei der Bestimmung der Abstände der Einbaue vorzugsweise diese letztere Regel als maassgebend zu betrachten, und die Entfernung der Werke nach einem bestimmten Verhältnisse aus ihrer Länge, oder so, dass sie nicht normal vor das Ufer treten, aus dem normalen Abstand ihrer Köpfe vor dem Ufer herzuleiten. Eine allgemein gültige Regel hat sich in dieser Beziehung nicht herausgestellt, doch hat die Erfahrung wohl gezeigt, dass ein wirksamer Uferschutz nur dann erreicht wird, wenn die Entfernung der Einbaue von einander das Doppelte des normalen Abstandes der Köpfe von dem Ufer nicht übersteigt, und in manchen Fällen hat man sich gezwungen gesehen, die Entfernung sogar auf die Hälfte zu reduciren, oder später Zwischenwerke zu erbauen, weil die anfangs gewählten Intervalle zu gross waren, als dass sie das Eindringen der tiefen Rinne verhindern können.

Bei dieser Gelegenheit muss aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Einbaue allein das Ufer nur unvollkommen schützen, und nicht einmal den Abbruch durch Wellenschlag meist nicht verhindern. Dies geschieht dieses, wenn der Wind in der Richtung dieser Werke steht, und sonach die auflaufenden Wellen zwischen ihnen ihre volle Stärke behalten. Hiernach wird ziemlich allgemein ausser diesen Einbauten auch noch die Uferdeckung vollzogen; ausgeführt, wie solche früher beschrieben ist. Man bemerkt oft, dass neben den Wurzeln der Einbaue, oder an den Stellen, wo diese sich an das Ufer anschliessen, der Angriff stärker als er früher war, und dieses erklärt sich dadurch, dass die

Wellen, wenn sie in die Winkel einlaufen, hier ihre Bewegung concentriren und eine hohe Brandung veranlassen.

Demnächst entsteht die Frage, ob man die Einbaue normal gegen das Meeresufer legen, oder ihnen eine Richtung geben soll, die nach der einen oder der andern Seite mehr oder weniger geneigt ist. Woltman empfiehlt das Erste und zwar vorzugsweise deshalb, weil man bei dieser Anordnung mit der geringsten Länge den grössten Abstand vom Ufer erreicht. Ausserdem macht er aber auch darauf aufmerksam, daß in den stumpfen Winkeln der Wellenschlag sich sehr zu verstärken pflegt, und es deshalb vortheilhaft ist, alle Winkel möglichst klein, also jeden gleich einem rechten zu machen. Der erste Grund, obwohl in voller Schärfe richtig, ist indessen nicht maafsgebend, da bei einiger Abweichung von der Normalen, wodurch möglicher Weise schon andre bedeutende Vortheile erreicht werden, der Abstand des Kopfes von dem Ufer noch sehr nahe der Länge des Werkes gleich bleibt, weil dieser Abstand nur in dem Verhältnisse des Cosinus eines kleinen Winkels sich ändert. Es ist daher zu untersuchen, ob die beabsichtigte Wirkung dieser Einbaue dadurch befördert werden kann, daß man sie in etwas schräger Richtung ausführt. Auf das Urtheil von Woltman dürfte dabei kaum Gewicht zu legen sein, da derselbe wohl nie Gelegenheit hatte, die Wirkungen der inclinanten Werke zu beobachten. An der Meeresküste ist man, soviel bekannt, niemals von der Absicht ausgegangen, inclinante Einbaue darzustellen, vielmehr bezog sich die Abweichung von der normalen Richtung immer nur auf declinante Werke. Man folgte also bei diesen Bauten noch denselben Grundsätzen, die früher bei der Regulirung der oberländischen Ströme allgemein maafsgebend waren.

Ferner darf man nicht unbeachtet lassen, daß die Strömungen an der Meeresküste, soweit sie von Fluth und Ebbe oder vom Winde herrühren, ihre Richtung nicht dauernd beibehalten, sondern letztere abwechselnd sich verändert. Der Fluthstrom ist gewöhnlich dem Ebbestrom direct entgegengesetzt, und die Buhne, die gegen den ersteren eine declinante Lage hat, ist für den letzteren inclinant. Wo beide Strömungen gleich stark sind, giebt es daher gewifs keinen Grund, von der normalen Richtung abzuweichen. Der Vortheil, den man dadurch in einem Falle erreichen könnte, würde durch einen eben so grossen Nachtheil im andern Falle auf-

haben werden. Gewöhnlich sind indessen beide Strömungen nicht gleich. Oft geschieht es, daß nur eine von beiden sich nahe am Ufer hinzieht, die andre dagegen sich weiter davon entfernt, also eine geringere Einwirkung von den Buhnen erfährt. Noch häufiger wiederholt sich aber der Fall, daß beide an derselben Stelle und denselben Rinnen sich bewegen, ihre Stärke aber sehr verschieden ist. Die Frage in Betreff der vortheilhaftesten Richtung ist keineswegs ganz bedeutungslos.

Der Vorzug der inklinanten Buhne vor der senkrechten und endlich vor der declinanten beruht darauf, daß sie zu der Bildung starker Wirbel in den Intervallen am wenigsten Veranlassung giebt, demnächst aber auch, daß sie das überstürzende Wasser nicht dem Ufer richtet, sondern es von demselben abweist. Beide Zwecke werden befördert, wenn die Buhne recht lang ist, oder einen bedeutenden Theil des Profiles abschließt, also einen merklichen Stau erzeugt. Einen solchen Erfolg kann eine Buhne oder Einbau am Meeresufer nicht leicht haben, weil das Stromprofil übermäßig groß ist, und man darf deshalb wohl vermuthen, daß ein inclinantes Werk sich nicht in auffallender Weise vortheilhafter als ein senkrecht zeigen wird. Hieraus erklärt es sich, daß man in den Wirkungen der senkrechten und der declinanten Werke vor Meeresufern keinen merklichen Unterschied wahrnehmen hat. Nichts desto weniger folgt hieraus noch keineswegs, daß die Vorzüge der inclinanten Werke, worüber unter diesen Verhältnissen noch keine Beobachtungen vorliegen, hier ganz unberücksichtigt sein sollten.

Bei Beantwortung der vorliegenden Frage darf man endlich die Richtung der herrschenden und der stärksten Winde nicht unberücksichtigt lassen, und man muß immer dafür sorgen, daß die Einbauten die Kraft der gegen das Ufer anlaufenden Wellen möglichst zu schwächen. Aus allen diesen Umständen ergibt sich, daß man bei Einbauten am Meere in vielen Fällen die senkrechte Richtung als die vortheilhafteste wählen kann, und vielleicht niemals Veranlassung vorliegt, sich von derselben zu entfernen, daß jedoch eine wenig inclinante Richtung, wobei also der Einbau der stärksten Strömung entgegen gekehrt wird, unter Umständen doch vielleicht vortheilhaft sein dürfte.

Für die Wahl der entgegengesetzten, oder der declinanten Rich-

tung giebt es aber keinen Grund, und so oft man dieselbe gewählt hat, ist dieses wohl nur geschehn, weil man der früher allgemein verbreiteten Ansicht folgte, und meinte, daß die Wasserfäden, welche die Buhnen treffen, von denselben wie elastische Körper reflectirt werden.

Endlich kommt bei der Anordnung dieser Einbaue auch noch deren Höhe in Betracht. Ueber die gewöhnlichen Fluthen pflegt man sie selten zu erheben, weil sie alsdann einem zu heftigen Wellenschlage ausgesetzt und zu schwer zu erhalten sind. Dagegen legt man sie wenigstens in ihrer Wurzel oder in dem Anschluss an das Ufer auch nicht tiefer, um ihre Wirksamkeit nicht zu sehr zu beschränken. Sonach ist es ziemlich allgemein üblich, ihre Höhe mit der des gewöhnlichen Hochwassers übereinstimmen zu lassen, eine Verschiedenheit findet nur in sofern statt, als man zuweilen die Krone horizontal durchführt, und den Kopf eben so hoch, wie die Wurzel legt, zuweilen aber die Krone abfallen läßt, und den Kopf niedriger hält.

Woltman empfiehlt unbedingt die letzte Methode, die auch bei Strombauten ziemlich allgemein eingeführt ist. Er sagt, man müsse diese Anordnung wählen, weil sonst vor dem Kopfe eine sehr starke Strömung sich concentrirt, die eine Vertiefung erzeugt, welche das ganze Werk bedroht. Diese Rücksicht verdient gewiß volle Beachtung, denn wenn man auch den Kopf durch Steinschüttung gegen gewöhnliche Beschädigungen gesichert hat, so versinkt die Schüttung oft sehr schnell in die Tiefe, und indem alsdann der nächste Theil des Werkes das äußere Ende oder den Kopf bildet, so trifft diesen dieselbe Zerstörung um so leichter, als er des Schutzes entbehrt. Hierzu kommt aber noch, daß der Wellenschlag auf dem äußern Rande des Wattes stärker, als am Ufer ist, und daher auch in dieser Beziehung die Beschädigungen in der Nähe des Kopfes sehr groß werden, wenn man denselben nicht durch seine tiefere Lage vor dem heftigen Angriffe schützt. Endlich wird auch der Niederschlag der thonigen Theilchen befördert, wenn man die Ueberströmung der Werke nicht ganz unterbricht. Die Zwischenräume werden alsdann leichter mit trübem Wasser gefüllt, und wenn dieses sich auch nicht vollständig klären kann, indem es stets einige Bewegung behält, so läßt es dennoch hierbei eine größere Menge Thon fallen, als wenn der Zufluß mehr behindert ist.

Fig. 66 zeigt das Längen-Profil einer Schlenge nach der von Woltman empfohlenen Anordnung. Die Krone liegt neben dem Deiche in der Höhe des gewöhnlichen Hochwassers, am Kopfe des Deiches dagegen möglichst tief. Bis unter das gewöhnliche niedrige Wasser kann sie aber nicht herabgeführt werden, weil sie bei der üblichen Constructions-Art nicht auszuführen wäre, sie muß sogar einige Fusse darüber bleiben, wenn das Watt noch da ist, und hierdurch wird die Ausführung sehr erleichtert. Eine Lage von Faschinen, mit Steinen bedeckt, umgiebt den Kopf der Schlenge so weit über denselben hinaus, daß wenn sie bei der Annäherung der tiefen Rinne in diese herabsinkt, der ganze Bau dennoch durchschnittlich in seiner Krone die nöthige Anlage hat.

Die Einbaue werden sehr verschiedenartig construiert. Zuweilen haben sie ganz aus Faschinen oder Strauch. Dieses ist der Fall in dem erhöhten Theile der Fig. 66 dargestellten Schlenge.

Im Oldenburgischen werden sie in derselben Art ausgeführt. Fig. 67 zeigt eine solche, wie sie im Busen der Jade theils zum Zwecke des dahinter liegenden Deiches und theils zur Erhöhung des Wattes vielfach vorkommen. Ihre Krone, die horizontal gehalten wird, ist 8 bis 12 Fufs breit, die Seitendossirung ist so steil, wie auf 2 Fufs Höhe nur 1 Fufs Anlage hat, die Dossirung vor dem Kopfe erhält dagegen einfache Anlage. Die hierbei verwendeten

Faschinen sind wegen der Seltenheit des längeren Strauches etwa 5 Fufs lang, und bestehn größtentheils aus krummen und sehr starken Aesten. Sie werden nach der in Holland üblichen Methode so verlegt, daß die äußere Ansicht des Werkes überall die gleiche zeigt. Hiernach liegen die sämtlichen Faschinen, mit Ausnahme derjenigen, welche den Kopf bilden, parallel zu einander an, berühren und überdecken sich im Innern des Werkes mit ihren Enden, und wo dieses wegen größerer Breite der Lage nicht geschehen kann, wird der innere Raum noch besonders mit loseem Strauch oder mit kurzen Faschinen gefüllt. Der ganze Bau wird während des niedrigen Wassers auf dem Watten, also im Trocknen geführt. Sobald man eine Lage von etwa $1\frac{1}{2}$ Fufs Höhe aufgebracht hat, wird dieselbe ringsum mit zwei Randwürsten benagelt. Die Pfähle, die hierzu verwendet werden, sind etwa 6 Fufs lang, das obere Ende gelocht und mit einem Vorstecknagel versehen, mit

welchem sie die Würste niederdrücken und dadurch die ganze Packung etwas comprimiren. Hierauf wird unmittelbar die zweite Lage Faschinen aufgebracht, ohne daß Beschwerungs-Material dabei verwendet wird. Sobald aber das Werk seine volle Höhe erreicht hat, so bemüht man sich, die Krone möglichst auszugleichen und rammt alsdann auf dieser mehrere Reihen starker Pfähle. Die Reihen sind nach der Länge des Werkes gerichtet und schließen sich im Halbkreise um den Kopf herum. Ihr Abstand beträgt etwa 2 Fuß von einander, und der Abstand der einzelnen Pfähle in den Reihen etwa 1 Fuß. Diese Pfähle haben nach Maaßgabe der Höhenlage des Wattes verschiedene Längen und reichen jedesmal durch die ganze Packung hindurch bis in den Untergrund. Gegen den Kopf des Einbaues sind sie daher gemeinhin etwa 12 Fuß lang. Sie bestehen wieder aus starken Aesten und werden oben gleichfalls geschnitten und mit einem Vorstecknagel versehen. Wenn sie so tief eingesenkt sind, daß diese Nägel etwa noch 1 Fuß über die obere Lage vorragen, so wird starkes Strauch um die Pfähle jeder Reihe geflochten, wodurch sich Zäunungen nach der Länge des Werkes also quer gegen die Faschinen darstellen. Um diese Flechtzäune auf die Strauchlagen darunter fest anzudrücken, rammt man endlich noch die Pfähle kräftig nach, und hiermit ist der ganze Bau beendigt, indem weder Steine, noch irgend andere Beschwerungs-Materialien auf die Krone gebracht werden.

Diese Werke dürften sehr lose und unhaltbar erscheinen, in sofern das Strauch bei der abwechselnden Benetzung und Austrocknung bald leidet, auch schwindet, und sonach der feste Zusammenhang des ganzen Baues in Kurzem aufhört. Dieses findet indessen keineswegs in dem Maaße statt, als man vermuthen dürfte. Es tritt nämlich der sehr günstige Umstand ein, daß in den Werken selbst eine große Masse Thon sich aus dem trüben Fluthwasser niederschlägt. Sobald nur einige Fluthen darüber gegangen sind, so ist jedes einzelne Reis mit einer dünnen Schlamm Lage überzogen, und indem der Niederschlag sich immer weiter fortsetzt, lange noch hohle Räume vorhanden sind, auch während der Zeit, von den aus dem Wasser tretenden Reiscern der weiche Schlamm abtröpfelt, so füllen sich nach und nach alle Zwischenräume mit zähem Thone an. Dieser verhindert aber nicht nur das Austrocknen des Strauches bei niedrigem Wasser, sondern giebt auch

lich dem Werke so viel Masse, daß es dem Wellenschlage sicher steht. Der ganze Einbau verwandelt sich in dieser Weise in Thonklumpen, und das Strauch dient später nur noch, um die Erdmasse, die es einschließt, vor der Einwirkung der Wellen gegen Abspülung zu sichern. Nichts desto weniger sind die Schädigungen an diesen Werken doch sehr bedeutend. In jedem Jahre müssen wesentliche Ausbesserungen besonders in der Krone vorgenommen werden, und indem die erwähnten Zerstörungen in äußern Flächen nicht verhindert werden können, hier auch der Wurm sehr oft die größten Verwüstungen anrichtet, so wird solcher Bau von Jahr zu Jahr schwächer, und muß nach kürzlicher Dauer ganz aufgegeben und durch einen neuen ersetzt werden.

Häufig wird die Schlange durch eine ziemlich dicht schließende Lage größer und flacher Steine in der Krone bedeckt und dadurch wesentlich vor Zerstörungen geschützt. In dieser Art war bis etwa vor 20 Jahren die lange Einbaue vor den sehr gedeten Dünen bei Petten in Nord-Holland, und in gleicher Weise, wie bereits § 19 erwähnt, die beiden Werke gesichert, welche die Mündung des Entwässerungs-Canales bei Catwijk einschließen. Diese Construction wiederholt sich auch sonst vielfach in den Niederlanden. Man sichert sie dadurch, daß die Steindecke zu beiden Seiten und besonders am Kopfe mit einer Reihe von besonders großen, schweren und recht lagerhaften Blöcken umgeben wird, die durch doppelte Flechtzäune gestützt werden. Außerdem pflegen diese Werke, wenn sie auch am offenen Meere, also vor dem Strande liegen, sich im Innern mit Sand anzufüllen, wodurch sie an Masse wesentlich gewinnen und alsdann dem Angriffe der Wellen kräftiger widerstehn. Nichts desto weniger bleiben sie doch in den meisten Strauchlagen und an den Seiten der Zerstörung sehr ausgesetzt und bedürfen daher in jedem Sommer bedeutender Reparaturen. So oft diese vorkommen, werden die Steine, so weit es nöthig ist, abgehoben und, nachdem die Faschinen-Packung überhöht und vollständig ausgeglichen ist, auch die Zäunungen ausgeführt und wieder aufgebracht. Um diesen Werken eine grössere Dauer zu verschaffen, hat man in neuerer Zeit in mehrfacher Beziehung Aenderungen der Construction eingeführt, die bei Gelegenheit der Beschreibung des Uferschutzes neben Petten mitgetheilt werden sollen.

In Betreff der Ausführung dieser Schlengen wäre noch darauf aufmerksam zu machen, daß die Faschinenlagen nicht nur in der Krone, also unter der Steindecke, sondern auch im Innern der Flechtzäune verbunden werden. Von diesen in den Niederlanden vielfach zur Anwendung kommenden und überaus sorgfältig geflochtenen Zäunungen ist bereits im II. Theile dieses Handbuchs § 80 die Rede gewesen, auch zeigt die zugehörige Figur 149 ein solchen Zaun. Hier wäre nur in Betreff der Packwerke an der See, die einer besonders festen Verbindung bedürfen, zu erinnern, daß die Zaunpfähle, die für die untern Lagen nur etwa 3 Fuß lang sind, meist sehr nahe neben einander eingestossen werden, so daß der lichte Zwischenraum nur 3 bis 4 Zoll mißt. Auf die laufende Ruthe rechnet man gemeinhin 28 Pfähle. Das Flechtwerk ist etwa 6 Zoll hoch, und die Pfahlköpfe ragen darüber $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll weit. Beim Flechten wird besonders dahin gesehen, daß die dünnen Waldenruthen nirgend knicken oder brechen, weil sie sich in dieser Falle nicht fest an den Pfahl anlegen würden. Behalten sie dagegen ihre volle Festigkeit, so schließen sie sich so scharf an, daß ein Abgleiten über den Kopf nicht zu besorgen ist. Wenn es jedoch darauf ankommt, die Faschinenlage recht scharf niederzudrücken, was in der Krone der Fall ist, so pflegt man noch etwa jeden vierten Pfahl mit einer Kerbe oder mit einem Nagel von Eichen- oder Eschenholz neben dem Kopfe zu versehen, und letzterer wird nachdem er umflochten ist, besonders fest herabgetrieben. Um endlich dem ganzen Werke mehr Zusammenhang zu geben, so benutzt man zu den oberen Flechtzäunen, welche die Steindecke umschließen, längere Pfähle, die durch die ganze Packung hindurch bis in den Untergrund reichen.

Die Schlengen, welche zum Schutze der hartbedrohten Walpappelschen Deiche auf der Insel Walcheren schon seit langer Zeit erbaut sind, bestehn gleichfalls aus Faschinen-Packungen, die doch sehr solide von Pfahlreihen umschlossen sind. Figuren 68 *a* und *b* zeigen einen Theil des Grundrisses und einen Querschnitt dieser Werke, die in ihrer Construction den Hafendämmen, wie solche in den Niederlanden vielfach vorkommen, ziemlich ähnlich sind. Jede Schlenge ist etwa 30 Ruthen lang und ungefähr 90 Ruthen von der nächsten entfernt. Die Krone ist 12 Fuß breit und liegt in der Wurzel 8 bis 12 Fuß über dem gewöhnlichen

hwasser, am Kopfe dagegen in der Höhe des letzteren. Diese rke sind demnach bedeutend höher, als die bisher beschriebenen, wahrscheinlich wird ihre Unterhaltung hierdurch sehr vertheuert. i Pfahlreihen, nämlich zu beiden Seiten und in der Mittellinie, hen sich durch die ganze Länge der Schlenge hin, und aufer- p ist in Abständen von je 6 Fuß noch immer eine Querreihe pgerammt. In den einzelnen Reihen sind die Pfähle $1\frac{1}{2}$ Fuß von pander entfernt, und mittelst angebolzter Zangen mit einander punden. Diese Zangen sind bei allen innern Reihen einfach, bei p äußern dagegen doppelt, und durch letztere ist an jedem Pfahle p Bolzen hindurchgezogen. Die Felder zwischen diesen Pfahl- pten sind mit Faschinen ausgepackt, die abwechselnd in der einen p der andern Richtung liegen, so daß sie sich kreuzen. Flecht- pte oder sonstige Verbindungen kommen hier nicht vor, doch p große Steine, die sich mehrfach überdecken, darüber aufgebracht p diese geben vorzugsweise dem ganzen Werke die nöthige Masse, p dem Wellenschlage hinreichend Widerstand zu leisten. Bei vor- p menden Reparaturen, die vorzugsweise in der Faschinen-Packung p nöthig werden, müssen die Steine ausgehoben und demnächst p oder aufgebracht werden. Sehr bedenklich würde solche Con- p action an Küstenstrecken sein, wo der Seewurm sich besonders p breiten kann, was jedoch an Strom-Mündungen nicht der Fall p sein pflegt.

Um die Vertiefungen zur Seite und vor den Köpfen dieser rke möglichst zu verhindern, woselbst die Brandung gegen die en und steilen Wände sehr stark ist, führt man rings umher chinenbettungen aus, Risbermen genannt, die 18 bis 24 Fuß t und grossentheils mit Steinschüttung bedeckt sind. Nur an milder bedrohten Stellen begnügt man sich damit, diese Pak- gen, wie Fig. 68 zeigt, in der Nähe des Ufers allein durch Flecht- ie zu sichern.

Wesentlich verschieden ist die Constructions-Art, die man im nōverschen am nördlichen Ufer des Dollart zur Sicherung des des, sowie auch zur weiteren Ausdehnung des Aufsendeiches endet. Verfolgt man dieses Ufer von Emden aus in westlicher itung, so trifft man in der Entfernung von etwa drei Viertel- ien eine vortretende Uferecke, das Logumer Hoek genannt, und n eine Meile weiter die sehr scharf vortretende Ecke, den Knock.

Zwischen diesen beiden Punkten hat sich eine bedeutende Concavität ausgebildet, in welche der Strom um so stärker hineingedrängt wird, als die Untiefe, die Wibelsumer Plaate genannt, davor liegt. Dieses concave Ufer ist durch eine Anzahl Werke verbaut, deren Construction sich aus Fig. 69 ergibt. Im Abstände von 12 bis 14 Faden werden zwei Pfahlreihen eingerammt, die auf der innern Seite mit mehreren Gängen von Bohlen verkleidet sind, um die Zwischenräume zwischen den einzelnen Pfählen bis unter das Watt zu schließen. Die Pfähle reichen bis 3 Fuß unter das gewöhnliche Hochwasser herauf, und dazwischen ist zunächst ein Kern aus der von der Warte abgegrabenen Klaierde gebildet. Ueber diesen ist eine starke Lage von Faschinen ausgebreitet, die mit kleineren Steinen und Ziegelbrocken beschwert ist. Endlich ist das Ganze mit Grünsand geschoben möglichst regelmässig überdeckt. Die Krone erhebt sich an der Wurzel 3 Fuß über das gewöhnliche Hochwasser. Es bilden sich dabei so steile Seitendossirungen, daß man wohl bemerken mußte, dieselben könnten bei heftigem Wellenschlage zerstört werden, insofern die Wellen schon auf das Watt aufgelaufen sind, und daher die Wassermasse in ihnen die fortschreitende Bewegung aufgenommen hat. Die von der See aus in die Ems einlaufenden Wellen treffen indessen diese Bucht nicht, und dieselbe wird andrerseits auch durch die zum Königreich der Niederlande gehörige Landzunge Reyde gegen die Wellen aus dem Dollart geschützt, wofür die Werke wohl keinem besonders heftigen Wellenschlage ausgesetzt sind.

Am häufigsten werden die Einbaue in einfacher Construction aus Holz ausgeführt, wie Fig. 70 *a* und *b* im Querschnitte und in Grundrisse zeigt. Man nennt sie alsdann *Stacke*. Den wesentlichsten Theil derselben bildet eine dichte Holzwand, die an Zangen zu beiden Seiten umschlossen und durch Streben gestützt wird. Je nachdem der Wellenschlag mehr oder minder heftig ist, giebt man jener Wand eine grössere oder geringere Stärke. Auch in der Darstellung der Wand kommen manche Abweichungen vor. Auf der Insel Goederede, wo die sehr gefährdeten Deiche zu schützen sind, ist Balkenholz von 9 bis 10 Zoll Stärke dazu verwendet, und die einzelnen Hölzer sind ausserdem mit Federn und Nuthen versehen, so daß sie vollständige Spundwände bilden. An der Ems dagegen hält man grossentheils starke Bohlen schon für ausreichend.

vor den östlichen Ufern, wo doch der Wellenschlag besonders heftig wird, wie etwa bei Hollenwettern. Die Wände waren aber nur aus 4 zölligen Bohlen zusammengesetzt, wurden aber bestanden von 4 Fuß durch je zwei Streben unterstützt. Zur Befestigung der Streben dient gemeinhin ein langer und starker Schraubenbolzen, der die Köpfe derselben verbindet und zugleich durch die Wand hindurchgreift.

Woltman empfiehlt, statt zweier Zangen nur eine anzuwenden, die Hölzer doch niemals so genau in der Stärke übereinstimmen, daß sie durch die Zangen allein hinreichend fest gehalten werden. Man solle daher die eine Zange fortlassen, und dafür alle Hölzer möglichst sicher gegen die andre befestigen. Letzteres solle durch starke Nägel und theils durch Bolzen geschehn. Dagegen verlangt Woltman, daß eine zweite Zange noch unter der Mitte, also in der halben Höhe der Wand angebracht werde, damit die schwachen Hölzer nicht zu stark durchbiegen. Dieses ist ebenfalls vielfach geschehn, und zwar gemeinhin liegt die zweite Zange unter dem Watten. In diesem Falle pflegt man die Streben größerer Entfernung von einander anzubringen, ihr Abstand mißt aber selten eine volle Ruthe.

Die Wand reicht an dem äußeren Ende meist nur bis zum Niveau des gewöhnlichen Hochwassers herauf, während sie an der Innenseite des Werkes oder neben dem Ufer sich oft 6 bis 8 Fuß über erhebt. Bei dieser großen Höhe pflegt eine sehr starke Bewegung einzutreten, deren lautes Getöse beim Anschlagen jeder Welle schon in weiter Entfernung hörbar ist. So erinnere ich mich, daß ich bei einem Sturme das Schlagen der Wellen gegen die Wände bei Hollenwettern meilenweit deutlich unterscheiden konnte. Wenn diese Wellen aber schon auf den ansteigenden Grund aufgelaufen sind und ihre Wassermasse daher eine starke fortschreitende Bewegung angenommen hat, so wird bei ihrem Gegenstoßen die senkrechte Wand, diese selbst heftig erschüttert und zugleich der Boden neben ihr sehr angegriffen. Um nun zu verhindern, daß sich nicht eine so große Tiefe ausbilde, wobei die Pfähle der Wand und die Streben ausgespült werden könnten, so pflegt man zu beiden Seiten und namentlich neben dem Kopfe des Werkes Senkklammern oder Risbermen von Strauch anzubringen, die mit Steinen überdeckt sind.

Häufig wird die Construction in sofern noch etwas vereinfacht, daß man die Streben über die Wand übergreifen läßt, wie Fig. 1 zeigt, und sie hier unmittelbar unter sich verbindet. Diese Anordnung möchte sich indessen kaum empfehlen, weil dabei die Streben nicht mit der Wand in Zusammenhang gesetzt werden und somit von den in der Richtung des Werkes auflaufenden Wellen hin und her bewegt werden können. Wichtig ist es dagegen, den Kopf noch durch mehrere schräge davor gerammte Pfähle zu sichern oder einen Duc d'Albe davor zu stellen.

Im Allgemeinen haben die so eben beschriebenen Stacche die Erwartungen nicht entsprochen und namentlich ist dieses nicht zu sehen, wenn man sie in der Absicht erbaute, daß sie eine Erhöhung des Wattes veranlassen sollten. Die große Tiefe, die neben ihnen bildet, verhindert die Ablagerung erdiger Theile und wenn auch die Risbermen den Untergrund sichern, so können sie dennoch nicht den Niederschlag erhalten, der bei ruhiger Beruhigung sich vielleicht darüber ablagert. Auch diese Risbermen sind einem starken Angriffe ausgesetzt und bedürfen daher häufiger Ausbesserungen oder der vollständigen Erneuerung, und wenn der Untergrund nicht schützen, oder dieser bis zu großer Tiefe ausgewaschen wird, so verlieren auch die angrenzenden Theile des Baues ihre Unterstützung und die Wand mit der Verstrebung sinkt und wird ausgehoben. Oft geschieht dieses, während das Schiff sich noch in gesundem Zustande befindet. Die Ausbesserung theilweise Wiederherstellung der Wand ist aber sehr schwierig, man dabei die Verbindung mit den Zangen und Streben jedesmal lösen muß. Diese Umstände sind wohl Veranlassung gewesen, man von dieser Constructions-Art in neuerer Zeit abgegangen und dafür den Packwerksbau mit Steinbedeckung ziemlich allgemein eingeführt hat. Wenigstens ist dieses an der untern Elbe in Holsteinschen geschehn.

Das Ufer des Hamburger Amtes Ritzebüttel bildet im Allgemeinen eine starke Concave, und der Strom, der durch die gegenüberliegenden Untiefen sehr beengt wird, zieht sich vorzugsweise neben ihm hin. Es konnte nicht fehlen, daß er dasselbe heftig grüßt. Zwei oder drei feste Punkte, die seine weitere Annäherung verhinderten, existirten bereits. Dieses waren die Kugelbänke in der nördlichen Ecke der eingedeichten Niederung, und demnach

Mündung des Hafens Cuxhaven, neben der sich schon das Osterhorn befand. Von der Hafenmündung bis zur Hannoverschen Grenze beträgt die Entfernung nahe eine Deutsche Meile, und um von dieser Strecke, die dem Angriffe besonders ausgesetzt war, den Strom zu entfernen, wurde etwa in der Mitte derselben im Jahre 1793 ein langer Stack erbaut, welches das Grodener Stack genannt wird, weil es dem Dorfe Groden gegenüber liegt. Seine Länge maß 100 Hamburger oder 593 Rheinländische Fufs. Es bestand ursprünglich aus einer dichten Pfahlwand, indem beschlagene Hölzer neben einander eingerammt waren. Sie erhoben sich am Ufer bis zur Höhe des gewöhnlichen Hochwassers, an der Wurzel des Werkes blieben sie dagegen 6 Fufs darunter. Zu beiden Seiten waren Steinabdeckungen angebracht. Um den Kopf gehörig zu sichern, wurde noch mittelst Senkstücken in der Verlängerung dieses Baues eine Strachbettung von 200 Fufs Länge ausgeführt, die am Ende 108 Fufs breit und mit Steinen bedeckt war. Letztere erreichte die bedeutende Tiefe von 30 bis 35 Fufs.

Das Werk wurde indessen in kurzer Zeit sehr angegriffen und namentlich bildete sich ohnfern des Kopfes auf der westlichen Seite eine bedeutende Tiefe daneben. Um diese zu durchbauen, versenkte man hier im Jahre 1805 zwei grofse Schiffe, so wie auch gleichzeitig das Osterhorn in derselben Art gesichert wurde. Ausserdem erfolgte damals eine wesentliche Verstärkung jenes Stackes noch dadurch, dafs man eine zweite verholzte Pfahlwand im lichten Abstände von 10 Fufs neben die erste einrammte, beide mittelst Zapfen verband, und den innern Raum mit schweren Steinen ausfüllte.

Seit dieser Zeit scheint das Werk ohne Besorgnis zu erregen, sich gehalten zu haben, bis die tiefe Stromrinne sich demselben nach und nach immer mehr näherte. Die Steinschüttungen vor dem Kopfe wurden auch noch später fortgesetzt, und es scheint, dafs derselbe durch diese hinreichend gesichert ist, wiewohl die Tiefe unmittelbar davor sogar bis auf 100 Fufs zunahm. Vor wenigen Jahren traten indessen wieder Versackungen und zwar diesesmal an beiden Seiten des Werkes ein, an der westlichen Seite ohnfern des Kopfes, also an derselben Stelle, wo vor 50 Jahren die Schiffe versenkt waren, und eben so auch an der östlichen Seite ohnfern der Wurzel. Letzteres geschah wahrscheinlich in Folge sehr heftiger Widerströme, die dieser weit vortretende Einbau ver-

anlafste. Um denselben zu erhalten, hat man an beiden Seiten eine Anzahl kleinerer Einbaue oder Bühnen an ihn angeschlossen, die normal vom Hauptwerke ausgehn, oder parallel zum Ufer liegen. Dieselben sind jedoch in weit geringerer Höhe gehalten, und erheben sich nur wenig über das Watt.

Die erwähnte große Annäherung des tiefen Stromschlauches wurde indessen abgesehn von den Beschädigungen dieses Stacks auch für das Ufer selbst höchst bedenklich, und man sah sich daher gezwungen, dasselbe noch durch mehrere andre Einbaue zu schützen, die jedoch kürzer waren, als der beschriebene, und nur etwa 200 Fuß vor das Ufer vortraten. Die sehr bedeutenden Mehrkosten, welche eine größere Länge veranlaßt haben würde, machten diese Abweichung nothwendig, doch nahm man darauf Rücksicht, daß die Köpfe der neuen Werke eine angemessene Streichlinie bildeten. Bei der Ausführung wurde von der Anwendung dichter Pfahlwände und von Holzkisten ganz abgesehn, und dafür Strach-Constructionen mit Steinbedeckung gewählt.

§ 23.

Einbaue vor dem Strande.

Bisher ist vorzugsweise von solchen Einbauen die Rede gewesen, die nur die Sicherung der dahinter belegenen Ufer bezwecken, und wenn man bei ihrer Anlage auch vielleicht jedesmal einige Erhöhung des Wattes oder des Strandes in Aussicht nahm, so ließ sich doch nicht eine bedeutende Alluvion von ihnen erwarten, wodurch das Ufer weit herausgerückt worden wäre. Eine solche Wirkung können die Einbaue, eben so wie die Bühnen an oberländischen Strömen nur haben, wenn eine kräftige Strömung große Sand- oder Kiesmassen an ihren Köpfen vorbeitreibt. Dieses geschieht zuweilen an Meeresküsten, und häufiger an den Ufern der unteren Stromtheile, in welche die Fluth stark einläuft. Die bewegten Kiesmassen sind hier nicht selten sehr groß und es ist alsdann so leicht, sie aufzufangen und sicher abzulagern, daß man solche Anlagen nicht allein zur Gewinnung von Land, vielmehr oft nur deshalb ausführt, um diese Kiesmassen zu beseitigen, und zu ver-

indern, daß sie nicht etwa in Hafenmündungen treten, oder an andern Stellen sich anhäufen, wo sie der Schifffahrt besonders nachtheilig sein würden.

Wenn man am nördlichen Ufer der Seine vom Hâvre nach dem Cap de la Hève geht, so sieht man eine Anzahl solcher Werke, die in ihrer Construction gewöhnlichen Bohlwerken gleichen. Die Pfähle stehen etwa 4 Fuß aus einander, sind verholmt, und an der westlichen, oder der Seeseite mit Bohlen verkleidet, großentheils kann man auch bemerken, daß sie auf derselben Seite mit Erdankern versehen sind. Sie befinden sich jedoch sämmtlich in sehr schlechtem Zustande und es scheint, daß man gegenwärtig auf ihre Unterhaltung oder Erneuerung keine Sorgfalt verwendet. Nichts desto weniger haben sie ihren Zweck sehr vollständig erfüllt, denn an der westlichen Seite hat sich jedesmal eine Kiesablagerung gebildet, die bis zum Holme heraufreicht, während auf der andern Seite die Ablagerung um 2 oder 3 Fuß niedriger ist. Diese Werke liegen sehr unregelmäßig, doch mögen Theile derselben vielleicht zerstört sein, so daß dieses der Grund ist, weshalb ihre Köpfe keine regelmäßige Streichlinie bilden. Ihre Länge beträgt durchschnittlich etwa 50 Fuß. Die Ablagerungen, die ohne Zweifel vom Fluthstrome herrühren, zeigen in der Oberfläche nur den rein ausgewaschenen Kies, also die Feuersteine, die aus den abbrechenden Kalkufern sich gelöst haben. Unter denselben liegen jedoch große Massen Sandes.

Auch an offenen Meeresküsten und namentlich an den Ufern des Canales hat man sowol auf der Französischen, wie auf der Englischen Seite dasselbe Mittel wiederholentlich zur Sicherung der Hafen-Mündungen angewendet. Als im Jahre 1837 die Verbesserung des Hafens von Dieppe zur Sprache kam, führte man auf dessen westlicher Seite, also zwischen den Bädern und dem Hafendamme, fünf solcher Einbaue aus, die den mit dem Fluthstrome antreibenden Kies vor dem Hafen auffangen sollten. Diese Werke (épis) sind in ähnlicher Weise, wie die so eben beschriebenen construiert, doch werden sie sehr sorgfältig unterhalten. Ihre Länge mißt etwa 200 Fuß, und ihr gegenseitiger Abstand das Doppelte dieser Länge. Sie greifen mit ihren Wurzeln in das höhere Ufer ein, so daß sie nicht hinterströmt werden können, und ihre Köpfe erreichen nicht die Grenze des niedrigen Wassers, sondern bleiben gegen diese noch etwa 100 Fuß zurück. Diese Köpfe erheben sich einige Fuß über

den Strand, und der Holm steigt mit schwacher Neigung gegen das Ufer an. Ihre Construction betreffend, ist zu erwähnen, daß die Pfähle aus beschlagenem Balkenholze bestehn und in Abständen von 6 Fuß eingerammt sind. Der Holm, der 15 Zoll stark ist, tritt auf beiden Seiten über die Pfähle so weit vor, daß er mit den aufgenagelten Bohlen bündig ist. Ueber jedem Pfahle ist ein starker Bügel um den Holm gelegt, der bis zur dritten Bohle herabreicht, und durch zwei durchgehende Schraubenbolzen befestigt ist. Die Bekleidung mit Bohlen ist auf beiden Seiten angebracht. Eine Verankerung findet nicht statt. Sehr auffallend war es mir, zu bemerken, daß der Kies sich viel stärker an der östlichen, als an der westlichen Seite jedes Werkes abgelagert hatte, doch war dieses vielleicht durch vorhergehende starke westliche Stürme veranlaßt, die den Kies wieder in Bewegung gesetzt hatten. Nach den in § 12 mitgetheilten Thatsachen erscheint es zweifelhaft, ob diese Einbauten wirklich zum Nutzen des Hafens gereichen werden, da sie ohnfehlbar, wenn sie ihren Zweck erfüllen, den Strand herausrücken, also zur Abflachung und vollständigen Schließung der kleinen Bucht unmittelbar vor dem Hafenkopfe beitragen werden. Ist dieses aber einst geschehn, so treibt der Kies an ihnen vorbei in die Hafenmündung, die nunmehr gar nicht vor das Ufer vortritt. Vortheilhafter wäre es gewesen, die Bucht hier möglichst zu erhalten und den antreibenden Kies schon in weiterer Entfernung aufzufangen.

Bei Dover hat man in früherer Zeit auf gleiche Art den Kies von dem Hafen abzuhalten gesucht. Auf der Westseite der Stadt tritt das Kreide-Gebirge unmittelbar an das Meer, während es ostwärts erst bei South-Foreland wieder in gleicher Weise vorspringt. Es bildet sich daher hier eine flache Bucht, in welcher der Hafen mit der Stadt liegt, und die Mündung des Hafens befand sich am Ende des vorigen Jahrhunderts nicht auf einer vortretenden Uferecke, vielmehr trat sie gegen die Richtung des westlichen Ufers noch merklich zurück. Hiernach konnte es nicht fehlen, daß die großen Massen Feuersteine, welche bei dem oft wiederholten Abbruche des Ufers herabfielen, und durch die Fluth in östlicher Richtung getrieben wurden, sich vorzugsweise vor der Mündung des Hafens ablagerten. Man hatte indessen bemerkt, daß so oft ein starker Absturz des nächsten Ufers erfolgt war, die Kiesmasse, die

er trieb, sich wesentlich verminderte. Smeaton*) beob-
 wei Fälle dieser Art. Die herabfallende Kreide nebst dem
 haltenen Feuersteine bildete eine Schüttung, die weit vor-
 trat, und sie wirkte sogleich wie ein künstlicher Einbau,
 r von der westlichen Seite herbeigeführte Kies davor sich
 , also zunächst zurückgehalten wurde, und nicht bis vor-
 eiben konnte. Die Verhältnisse änderten sich jedoch sehr
 an die von den Wellen hin- und hergetriebenen Kreide-
 schliffen sich sehr schnell ab, zerbrachen und verschwun-
 arzer Zeit, indem sie sich in feine Theilchen auflösten und
 Vasser schwebend in die Tiefe versanken. Einzelne festere
 er Kreide folgten noch einige Zeit dem Küstenstrome und
 gen ihres geringen specifischen Gewichtes sogar viel schnel-
 lie Feuerstein-Knollen. So geschah es, daß jener natür-
 ickbau sehr bald verschwand, und nunmehr wurde der von
 her neu antreibende Kies nicht weiter aufgehalten, über-
 or auch der bereits aufgefangene Kies seine Stütze und
 eichfalls von den Wellen in Bewegung gesetzt und weiter
 . Für die Hafenmündung trat also nur vorübergehend eine
 rung ein, und die Verflachungen stellten sich in Kurzem
 in und zwar in größerem Maasse, so daß wirklich die
 ies-Masse endlich dahin gelangte. Etwas günstiger mußte
 älniß sich gestalten, wenn jene natürliche Schüttung durch
 liden künstlichen Einbau ersetzt wurde, der dauernd sich
 und sonach die davor abgelagerte Masse nicht wieder ein-
 r Wellen werden konnte. Smeaton sagt, man hätte sogar
 durch solchen Bau dem Hinzutreiben des Kiesel für immer
 nze zu setzen. Diese Ansicht war Veranlassung gewesen,
 n im Abstände von etwa 200 Fuß auf der Westseite des
 einen großen, massiven Einbau (Cheeseman's head) aus-
 Der Erfolg war indessen kein anderer, als sich wohl vor-
 liefs. Obwohl der Bau gegen 300 Fuß vor das Ufer vor-
 war der Raum davor doch bald mit Kies angefüllt und letz-
 b nunmehr ungehindert wieder vorbei und lagerte sich so-
 stärker als früher vor die Hafenmündung, weil diese jetzt
 nter die Uferlinie zurücktrat, und sonach mehr gegen Strom

ports of the late John Smeaton. London 1837. Vol. II. pag. 282.

und Wellenschlag geschützt wurde. Unter diesen Umständen wurde im Jahre 1769 Smeaton zu Rathe gezogen. Derselbe sprach sich sehr entschieden gegen die weitere Verlängerung jenes Einbaues, so wie auch gegen die Anlage andrer ähnlicher Werke aus, indem er nachwies, daß sie nur vorübergehend von Erfolg sein könnten, daß sie aber in der Anlage kostbarer wären, als die künstliche Beseitigung des Kiesel vor der Hafenmündung, soweit derselbe die Schifffahrt behinderte. Er fügte hinzu, daß solche Werke nur in dem Falle von dauerndem Nutzen sein könnten, wenn man sie in jedem Jahre soweit verlängert, als die Ablagerung neben ihnen sich ausbildet. Dagegen empfahl Smeaton, den südlichen oder westlichen Hafendamm weiter hinauszuführen, damit dieser nicht so weit gegen die Uferlinie zurückbleibe. Außerdem wurden Spülvorrichtungen empfohlen und diese Vorschläge wurden auch ausgeführt.

Wenn die Angemessenheit dieser Vorschläge sich auch durch den Erfolg bestätigte, so konnte das Uebel doch keineswegs hierdurch allein gehoben werden, vielmehr bestand es noch dauernd und seine Beseitigung stellte sich immer um so dringender heraus, je mehr der Verkehr im Hafen zunahm. Aus diesem Grunde ist man später wieder auf die Einbaue, jedoch in viel einfacherer Construction zurückgekommen, und es sind zwischen dem erwähnten Cheeseman's head und dem Archcliff Fort etwa zwölf solche erbaut worden, die jedoch zugleich den Zweck haben, das Ufer, auf dem die Eisenbahnstation sich befindet, vor dem unmittelbaren Angriffe der Wellen zu sichern.

In neuester Zeit ist ein sehr großartiges Werk, nämlich ein Pier oder Hafendamm zur Ausführung 'gebracht, der sich an den Kopf des Cheeseman's head anschliesst und nahe in südlicher Richtung weit in die See tritt. Bevor man sich zu seiner Erbauung entschloß, entstand wieder die Frage, ob derselbe, wenn er auch über 1000 Fufs herausgeführt und soweit verlängert würde, daß bei kleinstem Wasser vor ihm die Tiefe noch 40 Fufs beträgt, den antreibenden Kies für beständig auffangen würde. Man glaubte sich in dieser Beziehung gesichert, insofern in der angegebenen Tiefe die Wellenbewegung beinahe ganz aufhört, also auch das Treiben des Kiesel nicht mehr zu besorgen ist. Wenn indessen nicht etwa durch vollständige Sicherung der Küste weitere Abbrüche derselben verhindert, und hierdurch der Bewegung des Kiesel eine Grenze

gesetzt wird, so wird solcher fortwährend gegen diesen neuen Pier anstossen, und er muß endlich, indem er davor liegen bleibt, seinen Kopf erreichen. Seine Bewegung wird freilich nur in mässiger Höhe oder in der Nähe des Wasserspiegels erfolgen, sobald er sich aber an einer Stelle stark anhäuft, vor der eine sehr grosse Tiefe sich befindet, so stürzt er ohnfehlbar in diese herab, und auf solche Art verschwindet nach und nach jene Tiefe, welche die Bewegung unmöglich machen soll. Nichts desto weniger dürfte wohl eine lange Reihe von Jahren vergehn, bevor die Bucht hinter diesem Damme und die Hafen-Mündung wieder bedroht wird.

Endlich muß noch des auf der Ostseite von Dover ausgeführten Einbaues (Castle Jetty) erwähnt werden, insofern die Wirksamkeit desselben in der überraschendsten Weise sich darstellt. Dieses Werk, das wieder massiv ist, hat im Ganzen eine sehr bedeutende Länge, doch läßt sich diese nicht mehr sicher schätzen, da es unter dem Kiese grossentheils schon vergraben liegt. Auf seiner westlichen Seite tritt die Kiesablagerung um 300 bis 400 Fufs vor die Lagerung auf der östlichen Seite vor, und erhebt sich zugleich um 6 Fufs über die letzte, so daß sich in Folge dieser Anlage für der ganzen Stadt ein breites Kai aus demjenigen Kiese gebildet hat, welcher der Hafenmündung vorbeigetrieben ist. Hinter

den Werken bemerkt man den Kreideboden unregelmässig abgebrochen vor den höheren Ufern und nur mit einer sehr mässigen Abdeckung überdeckt, während auf der westlichen Seite das Kiesfeld in grosser Höhe über den Felsboden erhebt.

Etwa in der Mitte zwischen Dover und der Insel Wight befindet sich eine besonders stark vortretende Uferecke, Beachy-Head genannt, neben Eastbourne und hier hat man eine grosse Anzahl Einbauten (groins) ausgeführt, um den ferneren Abbruch des bedrohten Kreideufers zu verhindern, indem diese vorbeistreibenden Kies auffangen und dadurch einen hohen Strand bilden, auf den die Wellen auflaufen, ohne die Kreide weiter zu führen. Diese Anlage ist nicht nur wegen der dabei erreichten günstigen Erfolge wichtig, sondern vorzugsweise auch, weil sie mit Sorgfältigkeit und methodisch angeordnet ist*). Auf dem geneigten Ufer wird an derjenigen Stelle, die vom Hochwasser der todten

*) Civil engineer and Architect's Journal. 1837 — 1838. pag. 6.

Fluthen so eben noch erreicht wird, ein Pfahl eingerammt, dessen Kopf bis zum Hochwasser der Springfluthen heraufreicht. Demnächst rammt man ohnfern der äußern Grenze des Strandes, oder soweit der Einbau ausgedehnt werden soll, einen Pfahl ein, dessen Kopf in der Höhe des gewöhnlichen niedrigen Wassers sich befindet. Zwischen diesen beiden Pfählen werden nun die übrigen eingetrieben, so daß ihre Köpfe mit jenen in eine gerade Linie fallen. Um aber eine Hinterströmung des Werkes zu verhindern, so wird dasselbe noch rückwärts so weit fortgesetzt, bis es den Strand oder das Ufer in der Höhe der Springfluthen trifft. Die Pfahlköpfe dieser Fortsetzung fallen in den Horizont der Springfluthen. Die Werke erhalten bei der Beschaffenheit des dortigen Strandes nach dieser Anordnung die Längen von 200 bis 250 Fufs, ihr Abstand von einander ist nur etwa ihrer halben Länge gleich. Sie sind sämmtlich normal gegen das Ufer gerichtet, oder wenn dieses sehr unregelmäßig abgebrochen sein sollte, gegen die Linie, welche den Zug des Ufers im Allgemeinen bezeichnet.

Die Pfähle sind 12 bis 25 Fufs lang und 6 bis 8 Zoll stark, und bestehn so wie die übrigen Verbandstücke aus Eichen- oder Buchenholz. Sie werden auf zwei Drittel ihrer Länge eingerammt, jedoch nicht in einer geraden Linie, sondern abwechselnd rechts und links versetzt, so daß die Bohlenbekleidung dazwischen liegt. Ihr gegenseitiger Abstand mißt 4 Fufs von Mitte zu Mitte. Sie erhalten keine Holme, werden aber seitwärts und zwar auf der westlichen Seite verankert, damit sie dem stärksten Wellenschlage sicher widerstehn. Zu diesem Zwecke werden auf der östlichen Seite möglichst tief gegen die Pfähle die Zangen verlegt, und diese in gewöhnlicher Art an 20 Fufs lange Erdanker, die 12 Fufs von einander entfernt sind, angebolzt. Man hatte sonst an beiden Seiten Erdanker angebracht, doch litten dabei die Werke, weil die doppelten Anker nicht so fest angezogen werden konnten, um vollständig gespannt zu sein, und so verhinderte eines die Wirkung des andern.

Die Bohlen waren 2½ Zoll stark, und wurden zwischen die Pfähle eingeschoben und an jeden derselben mittelst eines starken Nagels befestigt. Es kam darauf an, die ersten Bohlen möglichst tief herabzuschieben. Jedenfalls mußten sie bis unter die Kies- oder Sandablagerung reichen, sie durften auch nicht horizontal, sondern

was es geschehn konnte, mußten sie parallel zu den Pfahlköpfen liegen. Man machte sehr bald die Erfahrung, daß wenn ein Einbau sogleich in seiner ganzen Höhe mit der Bohlenwand geschlossen wurde, er nicht nur einem sehr starken Angriffe durch die Wellen ausgesetzt war, sondern daß sich auch auf der Seite, von der die Wellen anliefen, eine tiefe Rinne neben dem Werke bildete, in welche bald das Wasser abwechselnd hindurchströmte und die Pfähle löste. Um dieses zu verhindern, darf die Bohlenwand nur sehr wenig und höchstens 1 Fuß hoch über die jetzige Kiesablagerung sich erheben. Hierdurch wird einer merklichen Verschiedenheit des Druckes auf beiden Seiten vorgebeugt, die Wellen schlagen mit Leichtigkeit hinüber und der Kies, der sich voransammelt, wird nicht durch die abwärts gerichtete Bewegung des Wassers fortgetrieben. Sobald die Ablagerung nach und nach Höhe zunimmt, so stellt man neue Bohlen darüber, bis das Werk sich bis zu den Pfahlköpfen geschlossen ist. Die weitere Kiesablagerung hört alsdann auf, aber der Strand hat sich auch so erhöht, daß das Ufer dahinter vollständig gesichert ist.

Um ein Beispiel von massiven Einbauen zu geben, mögen folgende beschrieben werden, die in den Jahren 1847 bis 1849 bei der Insel Helgoland ausgeführt wurden^{*)}. Das neue Dock war ausgegraben und die dabei gewonnene Erde war auf der Südseite am Ufer aufgesetzt. Es kam darauf an, diese vor dem Fortspülen durch die Wellen zu sichern und das Uebertreten der See über den weit ausgetretenen flachen Strand zu verhindern. Zuerst wurden drei Werke erbaut, die etwa 350 Fuß lang waren. Ihr Kopf trat $2\frac{1}{2}$ Fuß und ihre Wurzel 10 Fuß über gewöhnliches Hochwasser. Ihr Querprofil wird nicht speciell bezeichnet, es heißt nur, daß ihre Anlage auf der Nordseite $2\frac{1}{4}$ Zoll, auf der Südseite dagegen 1 Fuß auf der Höhe hatte, und daß die Krone einen Kreisbogen von $5\frac{1}{2}$ Fuß Radius bildete. Sie bestanden im Außern aus behauenen Steinen, im Innern dagegen aus Mauerwerk von Bruchsteinen. Den wichtigsten Zweck erfüllten sie nicht, vielmehr wurden sie theilweise zerstört. Man ging daher zu einer andern Anordnung der Werke über. Es wurden noch vier Werke erbaut, die 510 bis 550 Fuß lang und durchschnittlich nur 400 Fuß von einander ent-

^{*)} Civil engineer and Architect's Journal. 1849. Pag. 156.

fernt waren. Ihre Köpfe legte man auf 7 Fuß, und ihre Wände auf 10 Fuß über gewöhnliches Hochwasser. Die Construction ist dieselbe, wie früher, doch bildeten diesmal große Steinblöcke, die man einige Fuß tief unter der Oberfläche des Strandes vergrub, das Fundament. Die Querschnitte der Werke waren Cykloiden durch einen Kreis von 12 Fuß 9 Zoll Durchmesser beschrieben. Diese überaus massenhaften Werke widerstanden nicht nur der Beschädigung dem heftigsten Wellenschlage, sondern sie veranlaßten in kurzer Zeit auch die beabsichtigte Ausbildung des Strandes, indem der schwere Kies in einem wasserfreien hohen Rücken abgelagerte.

Wenn in den erwähnten Fällen die starke Strömung der Flut und Ebbe ohne Zweifel das Herbeitreiben des Kiesel sehr befördert, so erfolgen dennoch auch in der Ostsee, wo die Strömung viel schwächer ist, die Sandablagerungen in gleicher Weise. So unserer Hafendämme ist, wenn auch zu ganz anderem Zweck gebaut, dennoch wesentlich nichts anderes, als ein solcher buhntiger Einbau in die See, und jeder derselben wirkt auch wie solcher. Es ist schon früher (§ 10) nachgewiesen, daß längs Pommerschen und Westpreussischen Küste die Strömung von Westen nach Osten, und vor dem Ostpreussischen Ufer nach Norden gerichtet ist. Dieser Strömung entsprechen vollständig die Sandablagerungen zur Seite der Häfen. Vor Swinemünde, Colbatz münde, Rügenwaldermünde und Stolpmünde tritt der Strand der westlichen Seite bedeutend weiter vor, als auf der östlichen, während man doch annehmen muß, daß bei der Anlage dieser Werke der Strand sich gleichmäßig ausgebildet hatte. Bei Stolpmünde, wo der westwärts belegenen Küste jede Befestigung fehlt, kann auch noch das weitere Vorrücken des Strandes an dieser Seite zwischen Zeiten von 10 Jahren und selbst in kürzeren Perioden deutlich bemerken. Bei Pillau giebt sich dieselbe Erscheinung erkennen. Als vor vierzig Jahren mit dem Bau der südlichen Damm der Anfang gemacht wurde, so rückte die Verlandung auf der östlichen Seite der Nehrung, die freilich immer künstlich befördert wurde, in demselben Maße vor, wie der Bau fortschritt, es bildete sich also hier auf derjenigen Seite des Einbaues, die dem Küstenstrom gegenüber war, eine weit ausgedehnte Sandfläche.

Man hat in neuerer Zeit auch an der Ostsee angefangen,

besonders bedrohte und dem Abbruche ausgesetzte Ufer durch
 zu schützen. Dieses geschah schon etwa vor 20 Jahren
 kleinen Insel Ruden, die den Greifswalder Bodden auf der
 begrenzt und durch ein tiefes Fahrwasser getrennt, die Fort-
 des nordöstlichen Ufers der Insel Usedom bildet. Der Ru-
 lt sich als eine schmale Düne dar, die rings von Wasser
 n ist. Die darauf eingerichtete Lootsen-Station gab vorzugs-
 'eranlassung, für ihre Erhaltung zu sorgen, da sowol auf
 -, wie auf der Westseite und vorzugsweise auf der Nord-
 r Strand, und mit demselben auch die Düne stark abbrach.

hier ausgeführten Werke sind sehr einfach construirt.
 von verschiedener Länge nach der Gestaltung des Ufers,
 ten ihre Köpfe keineswegs in eine vorher bestimmte Streich-
 mehr sind sie jedesmal bis zu einer gewissen Wassertiefe,
 von etwa 3 Fuß, herausgeführt. Ihre Wurzeln liegen am
 r Düne etwa 2 Fuß über dem höchsten Wasser, oder 6 Fuß
 n mittleren. Die Längen wechseln hiernach zwischen 4 und
 1. Der gegenseitige Abstand mißt etwa 5 Ruthen.

es Werk ist in der Wurzel 5 Fuß und am Kopfe 7 Fuß
 tztterer liegt wenig über dem mittleren Wasserstande. Fig. 72
 e Construction. Die Umschließung bilden Reihen von Pfäh-
 ren jeder 6 Fuß lang und 4 Zoll stark ist. Sie werden in
 tigem Abstände von 1 Fuß mindestens 3 Fuß in den Sand
 ben, und neben den Köpfen werden noch die einander ge-
 stehenden Pfähle durch Flechtruthen verbunden oder unter
 ankert. Demnächst werden die Pfahlreihen mit stärkeren
 -Zweigen umflochten, so daß sie sich in Flechtzäune ver-
 , und endlich füllt man den Zwischenraum etwa 1 Fuß hoch
 Abfalle von dem Kiefernstrauche und mit Wachholder aus.
 r liegt die 2 Fuß hohe Steinpackung, die grofsentheils aus
 Geschiebe besteht.

dieser sehr leichten Construction, deren Wahl nur darauf
 , daß die erforderlichen Baumaterialien mit den geringsten
 beschafft und in der einfachsten Weise verbunden werden
 konnten vielfache Beschädigungen nicht ausbleiben. Na-
 werden die Köpfe bei starkem Wellenschlage leicht zer-
 und vorzugsweise erfolgt dieses, indem an derjenigen Seite
 rkes, die vom Winde abgekehrt, also von den Wellen nicht

getroffen wird, eine so tiefe Rinne sich ausbildet, daß die stehenden Pfähle ausgespült werden. Die Erscheinung ist maasssen derjenigen analog, die sich bei gewöhnlichen B wiederholt. Das Wasser der Welle, die schräge in ein hineinläuft, strömt vorzugsweise zur Seite der vorderen B der zurück, und nimmt den hier befindlichen Sand mit s rend an derjenigen Seite, die unmittelbar von der Welle wird, die Sandablagerungen sich sehr auffällig bilden. Ni weniger sind die Wirkungen dieser Werke doch überau gewesen, und vielfach hat sich auf der östlichen oder der und noch mehr auf der westlichen oder am Bodden ein b sanft ansteigender Strand vor der Düne gebildet. Auch l eine flachere Dossirung angenommen, so daß die Gefahr teren Abbrüchen vollständig beseitigt ist. Die starken Sa rungen erklären sich hier vorzugsweise wohl dadurch, d dehnte Sandbänke die Insel (mit Ausnahme ihrer südlich rings umgeben.

Weniger auffallend war der Erfolg einer andern ähn lage, die in geringer Entfernung von dieser ersten ausgefü die jedoch in sofern weit ungünstiger situirt ist, als di Tiefe viel näher liegt. Das Ufer der Insel Usedom ist : len Länge flach convex geformt, und der am meisten i vortretende Punkt desselben besteht aus festem Thon, woh dem Angriffe der Wellen vorzugsweise Widerstand leiste desto weniger wurde er dennoch abgebrochen und es sta sorgen, daß mit ihm zugleich das ganze bisher geschützt rückweichen würde. Die Sicherung dieses Punktes wurde in andrer Beziehung, nämlich im Schiffahrts-Interesse, erachtet. Es befindet sich nämlich hier zugleich die höc der ganzen Umgegend, und darauf steht eine weit sichtb oder Landmarke, die Baake auf dem Streckelberge ger nicht eingehn durfte. Der Abbruch hatte sich diesem tl chen Bau schon sehr genähert, und da das Terrain land stark senkt, so würde das Signal, wenn es zurückgeste viel tiefer stehen und zugleich von der Waldung daneben verdeckt werden.

Im Jahre 1858 wurde daher ein Deckwerk von : Länge und $1\frac{1}{2}$ Ruthen Breite aus schweren Granitgeschieb

Die Höhenlage bestimmte sich nach der damaligen Beschaffenheit des Strandes, der so hoch war, daß er unter gewöhnlichen Abnutzungsverhältnissen einen bequemen Fahrweg bildete. Der Fuß des Deckwerkes lag etwa 1 Fuß über dem gewöhnlichen Wasserstand, und lehnte sich 5 Fuß darüber an die natürliche Böschung des Ufers an. Es stützte sich seewärts gegen eine starke Pfahlwand, in der die freien Zwischenräume nur wenige Zolle maßen, an beiden Seiten waren solche Pfahlwände ausgeführt. Die Unterlage bildete eine Strauchpackung, die mit kleinen Steinen bedeckt war, und darüber befand sich die möglichst regelmäßig verteilte Lage größerer Geschiebe, von denen jeder einzelne Block meistens einige Cubikfuß enthielt. Diese Steine fanden sich meist an der Baustelle selbst vor. Sie waren beim Abbruche des Ufers abgestürzt und lagen zerstreut auf dem Strande oder vor demselben auf flachem Wasser in der See.

Gleich im ersten Winter zeigte es sich, daß diese Art der Befestigung nicht genügte. Die Sandablagerung vor dem Deckwerke wurde angegriffen und fortgespült, so daß bei gewöhnlichem Wasserstande die Tiefe unmittelbar daneben etwa 2 Fuß betrug. In der Steindecke selbst waren unregelmäßige Versackungen eingetreten, wenn diese aber auch eine Ausbesserung erforderten, so bedeckten sie doch keineswegs den ganzen Bau. Viel bedenklicher als es dagegen, daß die aufschlagenden Wellen das natürliche Ufer immer sehr stark angriffen und eine vollständige tiefe Rinne bildeten, in der das übergeworfene Wasser an beiden Seiten hinter das Deckwerk abfloß. Diese Rinne schloß sich zwar vorübergehend durch neue Abstürzungen von dem hohen Ufer, nichts desto weniger war es nothwendig, diesen Zerstörungen Einhalt zu thun. Es wurde deshalb von dem Deckwerke aus fünf Anschlüsse, aus Strauchpackungen zwischen Pfählen bestehend, gegen das Ufer geführt, die an dieses noch etwas heraufgezogen. Wenn dabei Anfangs in Folge des weitem Abbruches des Ufers auch wieder Ergänzungen und Verlängerungen nothwendig wurden, so trat dennoch nach wenigen Jahren ein Stillstand ein und in dem Winter von 1861 auf 62 erfolgte keine weitere Ausspülung.

Besonders kam es darauf an, die fernere Annäherung der Tiefe jenes Deckwerk zu verhindern, und gleichzeitig auch die anstehenden Uferstrecken, die des Schutzes noch entbehrten, zu sichern.

Zu diesem Zwecke erschien es am angemessensten, zur Ausführung von Einbauten überzugehen, die normal gegen das Ufer in die Strandlinie traten und sich jedesmal rückwärts an das Deckwerk, oder an das Ufer anschliessen. Hiermit wurde 1859 der Anfang gemacht, während vier Jahren wurde damit fortgefahren. Es zeigte sich, dass dieses Ufer einem viel stärkeren Angriffe ausgesetzt sei, als der Ruden, es mussten daher die Steine, wie die Pfähle grössere Dimensionen erhalten, und letztere zugleich tiefer eingerammt werden, um nicht von den Wellen ausgespült und gelöst zu werden.

Im Allgemeinen wurde die Construction beibehalten, die bei den Ruden gewählt war, für diejenigen Werke aber, die vor der vorspringenden Ecke liegen, wurden Pfähle von 8 Fufs Länge und 8 Zoll Stärke angewendet. Für die seitwärts belegenen Einbauten genügten dagegen Pfähle von 6 Fufs Länge und 6 Zoll Stärke. Einen wie die Andren sind von Mitte zu Mitte im Abstände von 1 Fufs eingerammt. Die Köpfe der Werke erreichen im äussersten Falle nur die Tiefe von 3 Fufs unter dem mittleren Wasserstande, und indem die Pfähle hier noch 1 Fufs darüber vortreten, so stehen sie mindestens mit der Hälfte ihrer Länge im Sande. Weiter landwärts steigen die Pfahlreihen an, so dass sie an der Stelle, wo sie auf den Strand treten, etwa 4 Fufs über den mittleren Wasserstand reichen.

Ein Ausflechten der Pfähle konnte bei ihrer Stärke nicht stattfinden, es mussten daher zur Auspackung so grosse Steine gewählt werden, dass die Zwischenräume das Hindurchfallen derselben verhindern. Dieses war auch schon deshalb nothwendig, weil die Steine sonst bei dem heftigen Wellenschlage zu leicht über die Pfahlköpfe herausgeworfen wären. Indem nun die Packung jedesmal niedriger bleibt, als die umgebende Pfahlwand, so liegen die oben genannten Steine um so sicherer, je weniger Breite das Werk hat. Auch in anderer Beziehung war eine grosse Breite entbehrlich. Die starken Pfahlwände gaben dem Bau schon solche Festigkeit, dass es eine Vermehrung seiner Masse nicht bedurfte, wodurch die Kosten wegen der hohen Preise der Steine sich sehr vergrößert haben würden. Hiernach wurde die Breite der Werke auf 3 Fufs beschränkt.

Nachdem die Pfähle eingerammt waren, wurde der innere Raum bis etwa 1 Fufs über Wasser mit Strauch ausgepackt, auch da, wo das Werk auf den Strand traf, bildete man eine starke Unterlage.

a Strauch. Hierauf wurden die Steinblöcke, die mindestens 1 Cu-
fals maßen, in der durchschnittlichen Stärke von $1\frac{1}{2}$ Fuß aufge-
recht. Die Strauchunterlage drückte sich dabei so sehr zusammen,
b die Steine jedesmal bis unter die Pfahlköpfe herabsanken.

Durch diese Werke ist nunmehr eine Uferstrecke von 300 Ru-
m Länge, nämlich 100 Ruthen auf der nordwestlichen, und 200
ruthen auf der südöstlichen Seite des Streckelberges gesichert. Die
anzahl der Einbaue beträgt 76, sie liegen daher durchschnittlich
Ruthen von einander entfernt. Dieser Abstand ist indessen nicht
all derselbe, vielmehr ist er an denjenigen Stellen, wo der An-
sturm am stärksten ist, bedeutend kleiner. So mißt er er vor dem
Streckelberg selbst nur $3\frac{1}{2}$ Ruthen. Auch die Länge der einzelnen
werke ist sehr verschieden. Am größten stellt sich diese zu bei-
n Seiten jenes Deckwerkes heraus, wo die Einbaue bis 14 Ru-
m lang sind. Vor das Deckwerk treten sie 9 Ruthen weit vor.
e Köpfe liegen in einer regelmäsig gekrümmten Linie, die an
den Enden an den Strand sich anschliesst, wo die Werke nur
ra 6 Ruthen lang sind.

Diese Anlage hat insofern ihren Zweck vollständig erfüllt, als
die Annäherung der Tiefe verhindert hat, wie sich dieses aus
n in jedem Jahre an bestimmten Stellen ausgeführten Profilmes-
sungen unzweifelhaft ergibt. Auch waren in dem Winter 1861 auf
62 die Beschädigungen an den Werken selbst, wie an den Ufern
r sehr unbedeutend. Die Ablagerung des Sandes, oder die Er-
höhung und weitere Herausrückung des Strandes erfolgte jedoch
ch nicht, oder wenn sie nach gewissen Winden eingetreten war,
verschwand sie wieder bei andern. Diese Erfahrungen beziehn
ch indessen nur auf die Zeit bis zur Beendigung der mittleren
werke in ihrer vollen Länge, hoffentlich wird diese Verlängerung
sch in Bezug auf die Sandablagerung ein günstigeres Resultat ver-
lassen. Die Versuche, die verschiedentlich gemacht wurden, um
m zeitweise aufgefangenen Sand durch leichte Zäunungen oder
urch Bepflanzung mit Strandhafer festzuhalten, erwiesen sich ganz
rfolglos. Gewiß wäre sehr zu wünschen, daß man auch hier, wie
auf dem Ruden, einen breiten und hohen Strand gewinnen könnte,
m durch diesen die wichtige Uferecke ganz sicher zu stellen. Sollte
dieses indessen auch nicht glücken, so würde die Anlage doch den
wichtigen Erfolg haben, daß man mit mäßigen Unterhaltungskosten

diese Ecke dem weitem Abbruche entzieht, und indem sie wird, auch die anstossenden Ufer durch einfachen Dünen kann. Es war der erste Versuch an der Preussischen Ostsee um eine vortretende Uferecke gegen ferneren Abbruch zu

Es dürfte hier der passendste Ort sein, einer Anpflanzung zu erwähnen, die, wenn sie auch nicht den Schutz eines dahinter liegenden Ufers bezweckt, doch in sofern den Einbauen gleichfalls frei im Wasser liegt, und die Ablagerung des Sandes befördert soll. Verfolgt man in nördlicher Richtung das Ufer von Rügen, so gelangt man in der Entfernung von etwa 2 Meilen zur Mündung einer Kette von Seen, die neben dem Strande der Ostsee bis ins Mecklenburgische fortsetzt. Die erwähnte Mündung ist einer Versandung in hohem Maasse ausgesetzt, indem sie auf dieser Seite nicht durch festes Land, sondern durch eine Sandbank, die Bock genannt, begrenzt wird, von der nur wenige Stellen über den mittleren Wasserstand der See vorragen, über welche bei hohen Wasserständen die See mehrere Fufs hoch tritt und bei stürmischem Wellenschlage große Sandmassen löst und in die Fahrwasser treibt. Diese Sandbank, die sich von der Ostsee bis zur Insel Hiddens-Oe erstreckt, ist beinahe eine Deichlinie lang und ungefähr halb so breit.

Es kam darauf an, eine höhere rückenförmige Anpflanzung des Sandes hier zu veranlassen, die man später mit Gräsern bepflanzen und zu einer vollständigen Düne umbilden wollte. Jedenfalls stand es fest, daß keine hohen und festen Anlagen ausgeführt werden durften, weil solche theils selbst der See zu sehr ausgesetzt sein würden, theils aber auch neben der Dünenbildung Vertiefungen erzeugen müßten. Hiernach wurden leichte Anlagen von 2 Fufs Höhe versucht. Obwohl dieselben möglichst dicht gehalten werden sollten, so schlossen sich dennoch durch das Wasser die in ihnen befindlichen Oeffnungen durch den zutreibenden Seetang, und nachdem dieses geschehn, wurden die Anlagen vielfach von den Wellen unterspült und zerstört. Nichts desto weniger hatten sich doch stellenweise dachförmige Sandablagerungen bald gebildet, auf denen sich schon einige Vegetation einfand, die man früher hier nicht genommen hatte. Diese Vegetation aus See-Binsen (*Scirpus*) bestehend, beförderte augenscheinlich die weitere

des Sandes in höherem Maasse, als jene Zäunungen. Der Versuch war also stellenweise geglückt, und es kam darauf an, die Construction der Zäune so abzuändern, daß sie den darüber gehenden Wellen möglichst geringen Widerstand entgegensetzen. Dieses dürfte leicht zu erreichen sein, daß man theils die Flechtruthen noch weiter von einander entfernt hält, theils aber auch die Höhe der Zäunungen etwa auf die Hälfte oder noch mehr vermindert. Es ist daher vorgeschlagen, die Zaunpfähle zunächst nur etwa 8 Zoll hoch, und in einer Horizontal-Ebene abschließend, auszuflechten, und wenn bis zu dieser Höhe die Ablagerung erfolgt ist, die Flechtruthen wieder 8 Zoll höher aufzubringen.

§. 24.

Uferschutz bei Petten.

Endlich wäre noch einer Anlage zu erwähnen, die vielleicht die bedeutendste dieser Art, und gewiß in sofern von großer Wichtigkeit ist, als dabei vielfache Erfahrungen gemacht sind. Dieses ist die Vertheidigung des Seeufers in Nord-Holland zwischen Petten und Kamp. Es wurde bereits erwähnt, daß bei dem zunehmenden Abbruche des Ufers die natürliche Dünenkette hier sehr angegriffen und stellenweise beinahe ganz verschwunden ist, daß aber andererseits der Einbruch der See gerade an dieser Stelle übermäßige Verwüstungen besorgen liefs, und einem solchen daher in jeder Weise vorgebeugt werden mußte. Daß Letzteres zum Theil durch Ausführung von Deichen geschehn ist, die in geringer Entfernung hinter den bedrohten Dünen liegen, ist gleichfalls schon mitgetheilt, außerdem hat man aber die ganze Uferstrecke von 1350 Ruthen, oder etwas über zwei Drittel Deutsche Meilen Länge nicht nur mit einem sehr soliden Deckwerke umschlossen, sondern dieses noch durch fünf und dreissig davorliegende Höfter, oder buhnenartige Einbaue gesichert.

Wie sehr dieses Ufer dem Angriffe ausgesetzt war und periodisch zurückgedrängt wurde, ergiebt sich unter andern daraus, daß das Dorf Petten, soweit die geschichtlichen Nachrichten reichen, dreimal, nämlich 1421, 1570 und 1625 von der See zerstört,

und weiter landwärts wieder aufgebaut ist. Wie weit man dabei jedesmal zurückging, ist nicht bekannt, wohl aber weiß man, daß das Gemeindehaus bei Petten im Jahre 1627 um 130 Ruthen landwärts verlegt wurde, so daß es damals über 40 Ruthen vom innern Fusse der Dünen entfernt war, während es gegenwärtig bereits innerhalb derselben steht. Die Düne hat sich aber keineswegs verbreitet, vielmehr, während sie zurückwich, sich sehr verschmälert. Nach manchen andern Erfahrungen kann man annehmen, daß in den 84 Jahren von 1670 bis 1754 das Ufer der westlichen Küste von Nord-Holland stellenweise um 100 Ruthen und sogar noch mehr zurückgedrängt ist. Cordes, aus dessen Mittheilungen diese Angaben entnommen sind*), macht darauf aufmerksam, daß die Küste von Nord- und Süd-Holland, von der nördlichen Spitze gegenüber Texel bis gegen die Mündung der Maas eine flache Concave bildet, daß aber aus dieser das seit dem Jahre 1796 geschützte Ufer zwischen Petten und Kamp in convexer Krümmung heraustritt. Er spricht dabei die gewiß sehr begründete Vermuthung aus, daß dieses Ufer, wenn man es nicht geschützt hätte, gegenwärtig eben so weit, als es jetzt vortritt, bereits vom Meere verschlungen sein würde. Zugleich erwähnt er, daß man 4 und 5 Wegestunden von der Küste entfernt in der See noch denselben Torfboden vorfindet, der in Holland von der Marsch-Erde überdeckt ist, und sonach sich hieraus auf die im Laufe der Zeit erfolgte Abnahme des Landes schließen lasse.

Der Abbruch des niedrigen Strandes und der dahinter liegenden Dünen erfolgt nach Cordes in der Art, daß bei südwestlichen Stürmen, wobei der Wellenschlag immer am heftigsten ist, weil alsdann die Bewegung aus dem Canale sich bis an die Holländische Küste fortsetzt, der Strand vorzugsweise angegriffen wird, und sowohl an Breite, als an Höhe verliert. Sobald dagegen der Sturm mehr nach Norden sich wendet, so schwillt das Wasser an und alsdann tritt die Zerstörung der dahinter liegenden Dünen ein. Große Sandmassen stürzen von diesen auf den Strand herab, und ganz allgemein, wie durch mehrfache Beobachtungen nachgewiesen wird, nimmt der letztere dabei wieder an Breite zu, während er

*) Verhandelingen van het koninklijk Instituut van Ingenieurs 1855—1856. pag. 138 ff.

nach an Höhe gewinnt. Auf solche Weise nähert sich der Sand, aus dem die Düne besteht, nach und nach dem Meere, bis er von dem schliesslich fortgespült wird. Ein grosser Theil des Sandes legt aber auch landwärts, und veranlasst dadurch das langsame Verrücken der Dünen, während ein anderer Theil desselben bei entweichenden Winden längs des Strandes sich bewegt, und hier zumalen durch Strauchzäune mit Vorthail aufgefangen wird.

Um diesen höchst gefährlichen Angriffen auf der am meisten drohten Stelle Einhalt zu thun, fing man 1796 die Erbauung der Höfter an und nach zehn Jahren waren einige zwanzig derselben ausgeführt. Im Jahre 1822 sah ich diese Werke. Jedes derselben war 300 bis 400 Fufs lang, und in der Krone 20 Fufs breit. Die Kronen lagen nahe horizontal in der Höhe der gewöhnlichen Dünen. Es waren Packwerksbauten, die vielleicht auf Senkstückchen zum Theil ruhten, die Seitendossirungen waren sehr steil. Rings um die Kronen liefen zwei Flechtzäune, so wie mehrere derselben auch nach der Quere jedes Werkes. Die von diesen eingeschlossenen Räume waren mit grossen flachen Steinen ziemlich sorgfältig gepackt. doch gaben sich hin und wieder sehr bedeutende Beschädigungen zu erkennen. Der Abstand je zweier Einbaue maass etwa 700 Fufs. doch bemerkte ich, dass in dem mittleren Theile oftmals zwischen je zwei derselben noch ein Werk und zwar ein inneres nachträglich eingelegt war.

An den Wurzeln dieser Höfter war das Ufer auf grössere Längen durch Steindeckwerke geschützt. Zwischen zwei Flechtzäunen, die dem Ufer parallel liefen, und von denen der äussere die Wurzeln der Einbaue berührte, waren in Abständen von etwa 100 Fufs Querzäunungen gezogen. In diesen kastenförmigen Räumen lagen Faschinen-Bettungen und darüber waren wieder flache Steine gepackt. Landwärts schloss sich hieran die künstliche Düne an, der Sanddeich an, der den Uebertritt des Hochwassers verhindern sollte. Seine Krone von etwa 100 Fufs Breite lag ungefahr 20 Fufs über dem Maifelde, oder 19 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser. Die äussere Dossirung hatte fünffache, die innere zweifache Anlage. Die erstere, so wie auch die Krone, waren theils mit Strandhafer bepflanzt, theils aber mit Strohbüschem im Stande von $1\frac{1}{2}$ Fufs nach beiden Richtungen besteckt. Dieser Deich, dessen Länge etwa eine Viertel Meile betrug, hatte damals

ein sehr regelmässiges Ansehn, er war also wahrscheinlich erst kurzem ausgeglichen oder theilweise neu ausgeführt.

Die vorstehend angegebenen Maasse beziehen sich nur auf Schutzwälle, deren Mittheilung sich wohl dadurch rechtfertigt, daß in den Niederländischen Schriften vergeblich nach einer Beschreibung der ersten Anlage dieser Bauten gesucht habe. Man übersah sich später, daß diese Constructionen zu schwach waren. In der Zeit von 1836 bis 1847 wurden nicht nur die sämmtlichen Höfster wesentlich verstärkt, sondern auch die Uferdeckung wurde mit einer sehr soliden Holzwand versehen, die derjenigen ähnlich war, die zum Schutze eines Deiches in Friesland ausgeführt hatte, und § 16 Fig. 33 beschrieben ist. Von diesen Aenderungen giebt Storm Buysing*) nähere Mittheilungen, die jedoch mit manchen Einzelheiten, die ich nach jener Zeit sah, nicht ganz übereinstimmen. Wahrscheinlich wich man in Folge der inzwischen gemachten Erfahrungen verschiedentlich von den zuerst festgestellten Constructionen ab, und außerdem erklären sich manche Abweichungen wohl dadurch, daß diese Uferbefestigung zu zwei verschiedenen Verwaltungen gehört, indem die nördlich belegenen Einbaue nebst der betreffenden Uferdeckung von der Provinz Nord-Holland, der südlich belegene Theil dagegen, zum Hondsbosch gehörig, von den Communen ausgeführt worden ist.

Es existiren gegenwärtig fünf und dreissig Höfster, von denen die beiden äussersten 1352 Ruthen von einander entfernt sind. Die Länge jedes einzelnen beträgt mit geringen Abweichungen 380 Fuß. Die sieben nördlichsten, die sich neben Petten befinden, sind 600 Fuß von einander entfernt, die übrigen dagegen nur 400 bis 500 Fuß und zum Theil noch weniger. Fig. 73 zeigt den Grundriß einer dieser Einbaue mit der anschliessenden Uferbefestigung. Das Werk ist auf die ersten 240 Fuß Länge 19 Fuß breit, von hier ab verbreitert es sich allmählig bis auf 30 Fuß, und wird am Kopfe von einem Halbkreise begrenzt, der mit dem Radius von 15 Fuß beschrieben ist. Die Krone, mit einer starken Steinlage gedeckt, hebt sich in ihrem Anschlusse an das Uferwerk 1 Fuß 5 Zoll über das gewöhnliche Hochwasser, und bleibt am äussern Ende oder am Kopfe 5 Fuß 1 Zoll darunter, oder sie liegt hier in dem Niveau der

*) Bouwkundige Leercursus. I. Theil. Breda 1854 pag. 618.

ähnlichen Niedrigwassers. In ihrer Mitte befindet sich eine dicke Wand von $6\frac{1}{2}$ Zoll Stärke, die auf der Landseite 3 Fuß 2 Zoll das Hochwasser sich erhebt, am Ende dagegen 4 Fuß 2 Zoll tiefer bleibt, dieselbe ragt also an der Wurzel des Werkes um $1\frac{1}{2}$ Fuß 9 Zoll und am Kopfe um 11 Zoll über die Steindecke hervor. Zur Befestigung der Steindecke sind ausserdem vier Pfahlreihen in schmalere Theile des Baues, und im breiteren sechs solche gebracht, wie die Linien in derselben Figur angeben, auch sieht man darin einige Quer-Reihen. Der Zweck dieser Pfähle, die von beiden Seiten das Pflaster umschliessen, ist kein anderer, als eine Verhinderung der Zerstörung zu verhindern, falls einzelne Steine durch Wellenschläge abgehoben und fortgeschleudert werden sollten. Fig. 74 a und b zeigt die beschriebene Construction der Baue im grösseren Maassstabe, und zwar in der Ansicht von der Seite und im Querschnitte. Der äusserste Theil, etwa auf 130 Fuß Länge ruht auf einem Senkstücke, das oben wie unten mit einem Roste von Würsten versehen ist. Ueber diesem, so wie in den ganzen übrigen Theile sind Packlagen nach der in den Niederlanden üblichen Methode (§ 78 im zweiten Theile dieses Handbuchs) aufgebracht, wobei die Sturz-Enden der Faschinen immer nach aussen gekehrt werden und nur wenig gegen einander zurückweichen, so dass die Böschungen ziemlich steil ausfallen. Der letzte Theil ist nicht bedenklich, da die Wassertiefe zur Seite sehr gering geblieben ist. Nachdem die Packlage mit Würsten benagelt und mit Ziegelgrus beworfen war, was jedesmal vor dem Eintritt des nächsten Hochwassers geschehn musste, ging man sogleich zum Zusammenbau der Pfähle über. Soweit diese nicht die Mittelwand bilden, bestehn sie aus Eichenholz, haben 6 Fuß Länge und 6 Zoll Durchmesser und werden in Abständen von 15 bis 18 Zoll von Mitte zu Mitte, also in solchen Entfernungen eingerammt, dass die Steine, welche die obere Decke bilden, nicht hindurchfallen können. Man achtet aber dafür, dass die Pfahlköpfe noch etwa 6 Zoll über die Oberfläche dieser Steindecke vorragen, damit sie zuerst den Stoss der auflaufenden Wellen aufnehmen. Die mittlere Wand, deren Höhe und Stärke bereits angegeben ist, besteht aus schwachen Kiefern-Pfählen, die vollständig beschlagen, $11\frac{1}{2}$ Fuß lang und bei verschiedener Breite $6\frac{1}{2}$ Zoll stark sind. Sie werden möglichst dicht aneinander gerammt und nahe unter den Köpfen

durch zwei gegenüberliegende Zangen verbunden. Zur F derselben wird durch jeden vierten Pfahl ein Bolzen hing, der auf der einen Seite mit einem Kopfe und auf mit einer schmalen Oese zur Aufnahme eines Splintes v Dafs auf beiden Seiten Unterlagsscheiben angewendet w darf kaum der Erwähnung, doch muß hinzugefügt werden, Pfahlwände zuweilen sehr großen Beschädigungen durch wurm ausgesetzt sind, und hierdurch mehrfach bedeute der Wand beim Wellenschlage abgebrochen werden. Un verhindern hat man in neuerer Zeit theils die tiefer lieger der Wand, bis etwas unter die Steindecke mit Nägeln, dratische sehr große Köpfe sich überdecken, dicht beschl aber auch alle Hölzer vor dem Gebrauche mit Metall-(tränkt. Diejenigen Pfähle, welche nicht durch die erwähr bolzen mit den Zangen verbunden sind, werden noch d bolzen oder 8zöllige Nägel an die eine oder die andere festigt.

Endlich wird möglichst regelmäfsig und zwar flaf die Steindecke aufgebracht. Dieselbe bestand früher g aus Kalkstein-Blöcken von Doornik, die ziemlich fest si wohlfeilsten zu beschaffen waren. Sie brechen lagerh größeren Stücken, man verwendete nur solche, die 10 stark waren, und einige Quadratfufs Oberfläche hatten.

Diese Einbaue schliessen sich unmittelbar an das Uf werk an, dessen wesentlichster Theil in einer dicht s starken Holzwand besteht. Dieselbe ist aus kiefern zusammengesetzt, die vollkantig beschlagen sind und 9 : vierten messen, ihre Länge beträgt 20 Fufs. Sie werden gerammt, dafs ihre Köpfe, nachdem sie übereinstimmend ten sind, $9\frac{1}{2}$ Fufs über das gewöhnliche Hochwasser si Zu ihrer Verbindung dient eine starke Zange an der i ohnfern des Kopfes, an welche jeder einzelne Pfahl g Damit die hohe Wand dem starken Stosse der Wellen Widerstand leisten kann, wird sie in Abständen von 12, einen eichenen Pfahl, der als Strebe wirkt, unterstützt ist 23 Fufs lang, und wird, nachdem die Wand bereit abgeschnitten, auch mit der Zange versehn ist, über der schräge eingerammt, alledann mit einer Klaue versehn, u

so abgeschnitten, daß er, nachdem er herabgedrückt worden, sowohl gegen die Pfahlwand sich lehnt, als auch mit der Klaue die Zange umfaßt. Ein starker eiserner Bügel, der sich um ihn schlingt, wird sodann unter der Zange hindurch durch die Pfahlwand gesteckt, und hier über Unterlags-Scheiben durch Splinte in beiden Enden fest angezogen.

Demnächst dient zur Sicherung der Wand, und namentlich um eine starke Vertiefung auf ihrer innern Seite durch den Abfluß des beim Sturme überschlagenden Wassers zu verhindern, noch eine davor gestellte Kiste. Es werden nämlich in solchem Abstände, daß in der Oberfläche ein Zwischenraum von 2 Fuß sich bildet, Pfähle von 9 Zoll Durchmesser und 11 Fuß Länge in der Entfernung von 4 Fuß von Mitte zu Mitte senkrecht eingerammt, und bis zur halben Höhe derselben auf der Seeseite eine Bohlenverkleidung angebracht. Diese Wand erhebt sich 4 Fuß 8 Zoll über gewöhnliches Hochwasser. Der Raum zwischen ihr und der Pfahlwand wird nach der Höhe des Bodens 2 bis 4 Fuß hoch mit Strauch ausgepackt, darüber bringt man eine 2 Fuß hohe Lage von Ziegelgruß auf, und über derselben größere Steine. Indem das überschlagende Wasser auf diese Kiste senkrecht herabstürzt, so ist eine solide Bettung der Steine dringend geboten.

Endlich mußte die Pfahlwand auch auf der Seeseite gegen Auspülung gesichert werden. Dieses geschah, wie dieselbe Figur zeigt, durch eine 10 Fuß breite Steindossirung, die derjenigen auf den Einbauen ziemlich gleich war. Sie stützte sich in ihrem Fulse gegen eine Reihe kürzerer Pfähle und eine solche ist auch in der Mitte durch sie hindurchgezogen. Sie erhebt sich neben der Pfahlwand eben so hoch, wie die Krone der Einbaue, fällt aber ziemlich steil ab. Wie es scheint, waren die Doorniker Steine hier ursprünglich nur auf eine Faschinen-Bettung versetzt, doch ist später überall, wo eine Sackung eintrat, eine Bettung von Mauerschutt oder Ziegelgruß dazwischen gebracht.

Die Erfolge dieser Deckung, so wie auch der davor liegenden Höfter war ohne Zweifel in sofern günstig, als ein weiterer Abbruch des Ufers dadurch bisher verhindert ist. Eine Verbesserung desselben durch Sandablagerung und durch Verminderung der Tiefe ist indessen wohl nicht erreicht worden. Es soll später hierauf noch zurückgekommen, und hier nur bemerkt werden, daß die Beschä-

digungen an diesen Werken sehr bedeutend gewesen sind, und nicht nur die Steinböschungen und Kronen der Einbaue oft auf große Strecken aufgerissen, und die Pfahlwände auf den Einbauten abgebrochen wurden, sondern wiederholentlich zerschlugen die Wellen auch die hohe Pfahlwand, wie dieses bei dem heftigen Sturme am 26. September 1853 an zwei Stellen auf 30 bis 40 Fuß Länge geschah*).

Mit Rücksicht auf diese Erfahrungen hat man die beschriebenen Constructionen bei vorkommenden Instandsetzungen und Erneuerungen nicht beibehalten, sondern man ist davon in mancher Beziehung abgewichen.

Von geringerer Bedeutung ist die in neuerer Zeit eingeführte Aenderung der Befestigung der Strebepfähle gegen die hohe Pfahlwand, welche Fig. 75 zeigt. Nachdem nämlich diese Wand mit der bereits erwähnten Zange verbunden ist, so schneidet man an der Stelle, wo ein Strebepfahl eingesetzt werden soll, den Kopf eines Pfahles ab, und in die so gebildete Oeffnung stellt man den Strebepfahl, der in dieser Richtung eingerammt, und alsdann mittelst eines starken Bolzens an die Zange befestigt wird, die selbst durch Bolzen mit den einzelnen Pfählen der Pfahlwand verbunden ist. Der Kopf des Strebepfahles wird demnächst noch durch eine zweite Zange überdeckt, er greift aber durch die Pfahlwand hindurch und wird an seinem Ende durch einen starken aufgetriebenen Ring gegen das Aufreißen gesichert.

Fig. 76 zeigt in der Seiten-Ansicht und im Durchschnitte die durchsichtige Holzwand, welche auf den zum Hondsbosch gehörigen Einbauten in den Kronen derselben statt der dichten Wand vielfach zur Ausführung gekommen ist. Storm Buysing beschreibt sie etwas anders, wogegen die Figur sie so darstellt, wie ich sie 1862 sah. Ueber die Krone erhebt sich 5 Fuß hoch eine Reihe von Pfählen, die 2 Fuß von einander entfernt, und in der Nähe ihrer Köpfe durch eine Zange verbunden sind. Eine zweite Zange befindet sich ungefähr 1 Fuß über der Krone, und an diese sind zwischen je zweien der erwähnten Pfähle jedesmal noch zwei an-

*) Verhandelingen van het Kon. Instituut van Ingenieurs. 1853—1854. Pag. 53.

urze und schwache Pfähle angebolzt. Die letzteren sind in eindecke durch kurze eingerammte Pflöcke umschlossen, da die Anwendung kleiner Steine vermeiden wollte.

Durch diese Veränderung der dichten Wand in eine durchsichtige noch grössere Höhe erhielt, hoffte man theils die Wellenung zu mässigen und in Folge dessen die Ablagerung des s zu befördern, theils aber auch die Wand selbst einem gegebenen Angriffe, als früher auszusetzen. Die erste Absicht ist innach den bisherigen Erfolgen nicht erreicht worden. Storming sagt, dass in dieser Beziehung die durchsichtige Wand keinen Vorzug vor der dichten gezeigt hat.

Die Einbaue selbst werden gegenwärtig in viel grösserer te umgebaut, als sie früher hatten, und namentlich ist dieses der nördlichen Seite, also bei denjenigen Werken geschehn, e die Provinz zu unterhalten hat. Auf den grössten Theil ihlinge beträgt die Breite $28\frac{1}{2}$ Fufs, und nimmt gegen den Kopf f $44\frac{1}{2}$ Fufs zu. An jeder Seite der Mittel-Wand befinden sich fahlreihen, und die Steindecke, die zwischen den beiden äusseren Reihen neu hinzugekommen ist, bildet ein niedriges Banket, s das ältere Werk umgiebt, aber in gleicher Weise, wie dieonstruirt und befestigt ist. Fig. 77 b zeigt diese Anordnung im .

demnächst ist auch die Steinböschung vor der hohen Pfahlwand auf 48 Fufs und die Kiste dahinter auf $3\frac{1}{2}$ Fufs verbreitet, wie 7 a zeigt.

Indlich ist zu erwähnen, dass man in dem Jahre 1861 den ch gemacht hat, die Pfahlwand vor dem Ufer auf eine kurze te, nämlich zwischen drei neben einander liegenden Werken durch durchsichtige Wand zu ersetzen. Fig. 77 a und b zeigt diese dnung im Querschnitte und in der Ansicht von der Seeseite. Pfähle, welche diese Wand bilden, haben ihre Richtung beibehalten, aber nur einer um den andern erhebt sich $9\frac{1}{2}$ Fufs über das Wasser, während die Köpfe der übrigen nur $4\frac{3}{4}$ Fufs darüber tragen. Es mussten hiernach zwei Zangen angewendet werden, um die Köpfe von jenen, wie von diesen sicher zu unterstützen. Anbringung der Streben schien dabei entbehrlich, weil der Stofs der Wellen gegen diese Wand augenscheinlich viel schwächer ist, als nach der älteren Construction war.

Die Erfolge dieser Aenderung waren, als ich das Ufer im Sommer 1862 sah, nicht nur höchst augenfällig, sondern sogar überraschend günstig, indem sowol der Strand vor dieser Wand, als auch zwischen den Einbauten, als auch die Sand-Ablagerung dahinter am Fusse der Dünen sich um einige Fusse erhöht hatte. Auf beiden Seiten, wo die alten Wände noch bestanden, lag der Sand viel niedriger. Mir wurde zwar gesagt, daß ähnliche günstige Erfolge sich vielfach in früherer Zeit stellenweise erreicht wären, daß diese aber immer nur vorübergehend geblieben, und man daher auch noch kein entscheidendes Gewicht auf dieses Resultat legen dürfe, vielmehr die spätern Wirkungen abwarten müsse. Sollten indessen diese günstig ausfallen, so wäre hieraus eine überaus wichtige Erfahrung in Betreff der Sicherung der Seeufer gemacht. An der Erscheinung dieser Anordnung gewiß zweckmässig, denn einmal bleibt die Wassermasse, welche die auflaufende Welle gegen die Wand schleudert, und die von dieser wieder zurückströmen muß, geringer, sie wird also den Sand, der sich davor abgelagert hat, weniger angreifen. Andererseits aber kann die Welle auch große Sandmassen hinter die Wand werfen, und in dem Maasse, wie das Ufer sich hier erhöht, entfernt sich das Grundwasser von der Oberfläche, oder es zieht sich um so mehr Wasser durch den Boden hindurch, wodurch wieder die Parallel-Strömung hinter der Sandkiste vermindert, oder die Einwirkung derselben auf den hier abgelagerten Sand gemässigt wird. Aehnliche Anordnungen haben auch nach sonstigen Erfahrungen sich bewährt. Errichtet man Zäune am Strande, so fangen dieselben ebensowol wenn sie von Wellen getroffen werden, als wenn nur der Wind den Sand dagegen treibt, den letzteren besser auf, wenn sie vielfache Oeffnungen haben, als wenn sie ganz dicht sind. Sie dürfen die Geschwindigkeit des Wassers oder Windes nicht ganz aufheben, sondern sie sollen diese nur mässigen. Im ersten Falle kann der Sand nicht bis zu ihnen gelangen, und der verstärkte Druck treibt ihn wieder fort, wenn er zufällig bis zu ihnen geworfen wurde, und hierzu kommt noch, daß sie einem sehr starken Stosse oder Drucke ausgesetzt sind. Wenn sie dagegen mit vielen und grossen Oeffnungen versehen sind, so findet die Durchströmung noch statt, aber hinter ihnen und vor ihnen mässigt sich die Geschwindigkeit, und der mitgeführte Sand

sich ab. Vorzugsweise beim Dünenbau ist diese Rücksicht voller Bedeutung.

Betreff der vorstehend beschriebenen Uferdeckung wäre noch erwähnen, daß die hohe Pfahlwand, welche den Strand vollständig von den Dünen und dem dahinter liegenden Lande absperrt, fernungen von etwa 200 Ruthen mit Oeffnungen oder Durchgängen versehen ist, die so weit sind, daß man auch mit Wagen durchfahren, und sonach die Baumaterialien zur Instandsetzung der Einbaue an den Strand bringen kann. Die Wand ist in solchen Fällen auf 2 Ruthen Länge unterbrochen, damit aber die Wellen durch diese Oeffnungen nicht ganz frei hindurch treten und die Pfähle stark beschädigen, so setzt sich von der nördlichen Wand ein Pfeiler, der etwa 30 Grade von der Richtung derselben abweicht, fort vor die Oeffnung fort, daß er diese vollständig deckt, und schützt gegen ganz südlichen Winden, die jedoch keine starke Bewegung verursachen, treten die Wellen noch schräge über den Strand und dringen in die Einbaue fort in die schmalen Oeffnungen ein.

Schließlich bleibt noch die wichtigste Frage zu beantworten, ob diese sehr großartige Anlage der Zweck vollständig erfüllt und die Küste gegen ferneren Abbruch gesichert ist. Nach den bisherigen Erfahrungen ist dieses wirklich geschehn, eine bedeutende Verbreitung des Strandes, welche eine Verbesserung der Verhältnisse erkennen lassen würde, ist aber nicht eingetreten. Die Ursache bezieht sich vorzugsweise darauf, daß vielleicht in gleicher Weise, wie bei Buhnen im Strome oft geschieht, und wie auch an den langen Höfttern im Hamburger Amte Ritzebüttel geschehn, die große Tiefe sich den Köpfen so sehr nähert, daß diese leicht versinken, und daß bei der weitem Annäherung des Stromes der Uferschutz nach und nach weniger wirksam wird, und endlich aufhört. Nachdem die Werke bereits so lange bestehn und immer in der vollen Länge erhalten sind, auch selbst die Pfähle nicht in tiefem Wasser liegen, so scheint diese Besorgniß hier nicht zu begründen, und dieses rührt wahrscheinlich davon, daß bei dem sehr mäßigen Fluthwechsel keine starke Strömung vorbeigeht. Nichts desto weniger ist man in dieser Beziehung keineswegs ganz beruhigt. Noch vor zehn Jahren, also in einer Zeit, wo bereits lange Erfahrungen vorlagen, stellten die Ab-

geordneten von Nord-Holland bei der Regierung den Antrag, sie möge durch eine Commission von Sachverständigen untersuchen lassen, in welcher Weise im Auslande, und namentlich in Frankreich, Belgien und in Dänemark die Küsten gegen Abbruch gesichert werden. Der Minister des Innern lehnte diesen Antrag keineswegs bestimmt ab, sondern hielt es nur für angemessen, daß zuvor die Berichte über die Erfolge der verschiedenen Versuche zur Deckung der Niederländischen Küsten eingeholt würden.

Ohne Zweifel wäre die letzte Frage in Betreff der Wirkungen, welche die Einbaue bei Petten gehabt haben, sehr sicher zu beantworten, wenn man vor Anlage dieser Werke genaue Peilungen bis zu größeren Tiefen angestellt und diese mit neuern Messungen verglichen hätte. Es scheint, daß dieses nicht geschehn konnte, wenigstens werden darüber keine Mittheilungen gemacht. Man hat dagegen seit 1843 den Strand auf der Westseite von Nord-Holland, und seit 1857 auch den von Süd-Holland jährlich sehr genau vermessen, woraus sich die an demselben eingetretenen Aenderungen erkennen lassen. Diese Messungen beziehen sich auf den Fuß der Düne und auf die Grenze des gewöhnlichen Hoch- und Niedrigwassers. Außerdem ist auch noch die Höhe des Strandes durch Nivellements bestimmt, doch sind die letzten Angaben nicht veröffentlicht, und die Resultate möchten auch wegen der Unsicherheit in der Wahl der Punkte von wenig Bedeutung sein, wenn nicht vollständige Querprofile aufgenommen wurden.

In den Jahren 1842 bis 1843 wurde die Küste von Nord-Holland im Anschlusse an die früheren trigonometrischen Messungen genau aufgenommen. In Abständen von 1000 zu 1000 Ellen (265½ Ruten) wurden in möglichst langen geraden Linien vor dem Fuße der Dünen numerirte Signalfähle aufgestellt, und von jedem an werden seit dieser Zeit die Abstände des Dünenfußes und der beiden Wassergrenzen in jedem Jahre gemessen. Der Pfahl Nr. 1 steht am nördlichen Ende der Küste neben Kijkduinshof, der Pfahl Nr. 21 trifft auf das erste Höft bei Petten. Ohnfern des letztes bei Kamp steht der Pfahl Nr. 26 und der letzte Pfahl Nr. 71 befindet sich an der Grenze von Süd-Holland. An den Pfählen Nr. 22 bis 25, also an denjenigen, die hinter den Einbauten stehn, werden keine Messungen gemacht, wahrscheinlich weil die Wasserlinien hier gar zu veränderlich sind, die Düne aber vor dem Angriffe der

los geschützt ist. Diese Messungen sind für die Jahre 1843 bis 1859, also für 17 Jahre bekannt gemacht *).

Um die Hauptresultate übersichtlich zusammenzustellen, sind in den nachstehenden Tabellen die Aenderungen angegeben, welche sich an beiden Endpunkten der gedeckten Küstenstrecke, also bei den Pfählen Nr. 21 und 26 gezeigt haben, demnächst die durchschnittlichen Aenderungen der beiderseitig anschließenden Strecken von 3000 Ellen (796½ Ruthen) also nordwärts zwischen den Pfählen Nr. 18 und 21, und südwärts zwischen 26 und 29. Auf diese Strecken haben die Einbaue unzweifelhaft noch einigen Einfluss ausgeübt. Um beurtheilen zu können, ob dieses auch in weiteren Entfernungen der Fall gewesen, sind noch die durchschnittlichen Aenderungen der angrenzenden Strecken von 10000 Ellen (2655 Ruthen) hinzugefügt. Letztere werden von den Nummern 8 und 18, und die südliche von 29 und 39 begrenzt. Das Plus-Zeichen bedeutet das Anwachsen des Landes, also eine Herausrückung der Grenze nach der Seeseite, das Minus-Zeichen dagegen einen Abbruch oder die Bewegung jener Linien nach dem Lande. Die Aenderungen sind in Rheinländischen Fussen angegeben.

Die Periode von 16 Jahren habe ich nicht zusammengefasst, weil in dem letzten Jahre sehr grosse Aenderungen eintraten, welche zum Theil die früheren beinahe vollständig aufhoben. Es sind daher die Resultate zweier Perioden, nämlich einer funfzehnjährigen von 1843 bis 1858 und einer einjährigen von 1858 bis 1859 angegeben.

Nummern der Pfähle . . .	8—18	18—21	21	26	26—29	29—39
--------------------------	------	-------	----	----	-------	-------

Veränderungen von 1843 bis 1858.

am Fusse der Düne . . .	— 34	— 26	+ 3	— 19	— 42	— 17
am Hochwasser . . .	+ 20	+ 29	— 32	— 16	— 1	+ 44
am Niedr. Wasser . . .	+ 29	+ 26	+ 29	+ 54	+ 31	+ 70

Veränderungen von 1858 bis 1859.

am Fusse der Düne . . .	+ 1	+ 1	0	— 3	+ 2	+ 5
am Hochwasser . . .	— 5	— 17	— 3	+ 3	— 15	+ 3
am Niedr. Wasser . . .	+ 18	+ 25	+ 3	— 51	— 56	— 27

*) Verhandelingen van het koninkl. Instituut van Ingenieurs. 1859 bis 1860. Pag. 58 ff.

Aus diesen Zusammenstellungen ergibt sich, daß noch gegenwärtig sehr bedeutende Veränderungen der Küste vorkommen, und daß diese unter besondern Umständen sogar im Laufe eines Jahres sehr stark sind und alle Vortheile vernichten, welche in einer langen Periode sich nach und nach herausgestellt hatten. Dieses weisen die vorstehenden Tabellen für die Grenze des niedrigen Wassers in der südlichen Uferstrecke nach. Auf diesem 3000 Ellen langen Theile drang diese Grenze im Laufe von 15 Jahren durchschnittlich um 31 Fuß weiter seewärts vor, oder das tiefe Wasser entfernte sich soviel von dem Ufer. In dem einen folgenden Jahre wurde dagegen der Strand so angegriffen, daß das Niedrigwasser nahe um das Doppelte dieser Entfernung, nämlich um 56 Fuß durchschnittlich wieder landwärts vorrückte.

Man bemerkt außerdem, daß der Fuß der Düne in der ganzen Uferlänge, wenn auch nicht stark, doch durchschnittlich noch um 2 bis 3 Fuß in jedem Jahre zurückweicht. Auffallend ist es aber, daß in derselben Periode der Strand sich auch erhöht und seewärts verbreitet hat, so daß die Linien des Hochwassers wie des Niedrigwassers weiter hinausgegangen sind. Im letzten Jahre ist der Strand in dem Niveau des Hochwassers stark abgebrochen, im Niveau des Niedrigwassers dagegen haben sehr bedeutende Abgerungen auf den nördlichen Ufertheilen statt gefunden, während die südlichen zurückgewichen sind.

Die Hauptfrage, nämlich welchen Einfluß die Einbaue auf die Erhaltung des Ufers und des Strandes gehabt haben, beantwortet sich aus diesen Beobachtungen nur dahin, daß sich in keiner Beziehung ein Unterschied in dem Verhalten der Uferstrecken neben diesen Einbauten, und derer, die weiter entfernt liegen, zu erkennen giebt. Gewiß darf man hieraus nicht den Schluß ziehn, daß der Uferschutz überhaupt keine Wirkung gehabt hat. Die Werke existiren in der Mehrzahl bereits seit einem halben Jahrhunderte, als diese Messungen begonnen wurden, und sie hatten daher schon einen gewissen Beharrungsstand herbeigeführt, so daß die ursprünglichen Wirkungen nicht mehr durch diese spätern Messungen nachzuweisen waren. Indem aber gerade der am weitesten vortretende Theil des Ufers durch sie gedeckt ist, der gewiß den stärksten Angriff erleidet, so ergibt sich hieraus, daß die Werke wenigstens

übermaass aufgehoben und die durch sie geschützte Ufer-
en übrigen gleichgestellt haben.

dürfte von Interesse sein, noch von dem Verhalten des gan-
Dutsche Meilen langen Ufers der Provinz Nord-Holland
dieser beiden Perioden Kenntniss zu nehmen. Indem die
Strecken durch die Nummern der in gleichen Abständen
ten Pfähle bezeichnet sind, so wird noch bemerkt, daß

0 an dem nördlichen Ende dieses Ufers bei Kijkduin steht,
wo gleichfalls einige jedoch nur kürzere Höfter erbaut
sind,

13 bei Callantsoog,

21 bei Petten, am nördlichen Ende der hier in Rede ste-
henden Uferdeckung,

26 am südlichen Ende derselben ohnfern Kamp,

38 bei Egmond aan Zee,

52 bei Wijk aan Zee,

56 bei Zandvoort und

71 an der Grenze von Süd-Holland, dem Haarlemmer Meer
gegenüber.

durchschnittlichen Veränderungen sind in derselben Art,
er, wieder durch Plus- oder Minus-Zeichen in Rheinländi-
ssen, die Längen der Strecken aber in Rheinländischen
angegeben.

Längen der Strecke.	Längen derselben.	Am Fusse der Düne.	In der Linie des	
			Hochwassers.	Niedrigw.

Veränderungen von 1843 bis 1858.

0—13	3452	— 41	+ 64	+ 96
13—21	2124	— 51	+ 51	+ 60
21—38	3186	— 23	+ 60	+ 118
38—52	3717	— 19	+ 76	+ 169
52—66	3717	+ 16	+ 127	+ 166
66—71	1328	+ 19	+ 118	+ 204
Summ. Aender.	—	— 19,4	+ 81,9	+ 134,1

Grenzen der Strecke.	Längen derselben.	Am Fusse der Düne.	In der Linie des	
			Hochwassers.	Niedrigw.
Aenderungen von 1858 bis 1859.				
Nr. 0—13	3452	— 1	— 11	— 16
Nr. 13—21	2124	+ 2	— 10	+ 34
Nr. 26—38	3186	+ 4	0	— 35
Nr. 38—52	3717	+ 4	0	— 26
Nr. 52—66	3717	+ 4	— 10	+ 15
Nr. 66—71	1328	+ 1	0	+ 1
Durchschn. Aender.	—	+ 2,5	— 5,5	— 1,6

Es ergibt sich hieraus, daß die Verhältnisse der Nordholländischen Küste seit dem Beginne dieser Messungen sich keineswegs in nachtheiliger Weise verändert haben, denn wenn der Fuß der Dünen auch noch fortwährend abbricht, und durchschnittlich in jedem Jahre etwa um 1 Fuß zurückweicht, so begründet dieser Umstand keine Besorgniß, insofern die Grenzen des gewöhnlichen Hoch- und Niedrigwassers seewärts vorschreiten, nämlich jene um nur 4 Fuß und diese um mehr als 8 Fuß in jedem Jahre, woraus sich ergibt, daß der Strand sich verbreitet und erhöht. Das Zurückweichen der Düne wird unter diesen Verhältnissen wahrscheinlich bald seine Grenze finden, auch würde demselben noch vorgebeugt werden können, wenn man mehr Sorgfalt auf den Dünenbau verwendet, und namentlich durch regelmäßiges Anpflanzen von Gräsern am Fusse der Düne die Ausbildung recht flacher Dossirungen neben dem Strande befördern wollte.

Die Zusammenstellung zeigt noch, daß der südliche Theil dieser Küste günstiger situirt ist, als der nördliche. Nach der ersten Tabelle wird das Maass der Ausbildung des Strandes und zwar in Bezug auf beide Wasserlinien ziemlich regelmäßig immer um so bedeutender, je mehr die betreffende Strecke südwärts liegt, und in Betreff des Fusses der Düne ergibt sich dasselbe Resultat. Von Wijk aan Zee ab ist dieser Fuß im Allgemeinen nicht mehr zurückgewichen, sondern im Gegentheil hat er sich etwas vorge-schoben.

Auch die Breite des Strandes, oder die Entfernung zwischen dem Fusse der Düne und der Linie des gewöhnlichen Hochwasser

den südlichen Strecken auffallend gröfser, als in den nördlichen, dort misst sie durchschnittlich 15 Ruthen, während sie hier 12 und stellenweise selbst nur 10 Ruthen beträgt.

§. 25.

Die Dünen.

Das offene Meer wird grossentheils durch Sand- und Kies-Abtragungen begrenzt. Eine Ausnahme hiervon bemerkt man nur, wenn ein steile Felsufer aus grosser Tiefe sich erheben, jene Ablagerungen also unter der Oberfläche des Wassers bleiben. Selbst vor den schroffen Felswänden auf der östlichen Seite von Marseille, und ebenso in der Nähe von Port Vendre sieht man an einzelnen gehöckerten und flacheren Stellen den Kies zu Tage liegen, derselbe ist also auch hier eben so, wie auf dem gewöhnlichen Meeresstrande im Spiel der Wellen und der Strömung, die ihn nicht nur längs dem Ufer fortreiben, sondern ihn auch über die Oberfläche des Wassers erheben.

Ueber den Ursprung dieser Sand- und Kiesmassen kann kein Zweifel sein. Sie rühren von zerstörten Ufern, und zwar eben sowohl des Meeres, als der binnenländischen Ströme her. Die thonigen und sonstigen erdigen und organischen Theile, mit denen sie vermischt waren, sind durch die Wellen ausgespült und im Wasser schwebend fortgeführt, so dafs der Sand und Kies vor den Mündungen der Ströme oder vor den abbrechenden Ufern sich ablagert. Doch bleibt dieser keineswegs dauernd an derselben Stelle. Heftige Strömungen setzen ihn unmittelbar in Bewegung, und selbst sehr schwache Strömungen, so wie auch schon die schräge anlaufenden Wellen bewirken dasselbe, indem jedes Körnchen im Wellenschlage immer hin- und hergetrieben wird, und dabei zugleich weiter rückt.

So lange die Neigung des Strandes unter Wasser so steil ist, dafs der Sand oder Kies sich darauf nicht halten kann, so fällt er herab. Auf flacheren Dossirungen bleibt er dagegen liegen, und wenn die Rückströmung der Wellen ihn auch von hier herabtreibt, so wird er doch von der nächsten Welle immer wieder gegen das

Ufer zurückgeworfen, so daß er unter eine gewisse, dem Wellenschlage entsprechende Tiefe nicht hinabsinkt. Der oberhalb dieser Grenze gelagerte Sand bewegt sich nicht nur längs dem Ufer fort, sondern bei heftigen Strömen oder bei sehr starkem Wellenschlage kann er auch bis zu dem mittleren Wasserspiegel und selbst über diesen hinaus gehoben werden. Die dabei eintretenden Erscheinungen, so wie auch die Bildung des flach geneigten Strandes sind § 5 ausführlich erörtert, und es ergibt sich aus den daselbst mitgetheilten Thatsachen, daß unter gewissen Umständen sehr große Sand- und Kiesmassen stellenweise an die Ufer getrieben werden.

Es kommt darauf an, das weitere Verhalten dieser Massen zu verfolgen. Bei eintretender Ebbe, oder wo kein Fluthwechsel stattfindet, nach dem Aufhören des Sturmes, senkt sich der Wasserspiegel, der Sand trocknet, und indem die einzelnen Körnchen gar nicht an einander haften, so werden sie, besonders wenn sie nur geringe Dimensionen haben, schon von sehr mäßigen Winden fortgetrieben. Nach der jedesmaligen Richtung des Windes fliegen sie entweder längs dem Strande, oder indem der Seewind besonders heftig ist, weil er durch keinen Gegenstand geschwächt wird, so treiben sie vorzugsweise nach dem Binnenlande. Diese Bewegung des Sandes erfolgt in der Art, daß die Körnchen, welche die Oberfläche bilden, zunächst rollen, und indem der Druck des Windes sie dauernd trifft, so beschleunigt sich ihre Bewegung, sie fangen bald an zu hüpfen, und die Sprünge werden immer ausgedehnter, indem sie bei der jedesmaligen Berührung des Bodens, wie ricochetirende Kugeln sich mit nahe gleicher Kraft von Neuem erheben und in derselben Richtung weiter fliegen. Der feinere Sand, dessen Körnchen augenscheinlich verhältnißmäßig einen stärkeren Stoß vom Winde erleiden, als der gröbere, überspringt sehr weite Längen. So sah ich, daß derselbe bei starken westlichen Winden die ganze Breite des Hafens Rügenwaldermünde übersprang. Diese Wahrnehmung war aber sehr sicher, denn die fliegende Sandmasse hat das Ansehn eines dichten Nebels, und derselbe setzte sich ohne Unterbrechung über den Hafen fort, die Körnchen mußten also wenigstens 6 Ruthen weit springen, aber wahrscheinlich fielen sie erst in viel weiteren Entfernungen nieder, weil in der ganzen Breite des Hafens keine Schwächung dieses Nebels zu bemerken war.

Noch auffallender ist die große Höhe, zu der die Körnchen vor

en Ufern sich erheben. Vor den letztern fängt sich der Wind | er nimmt die Richtung der Dossirung des Ufers an, wenn diese | h sehr steil ist. Es sind aber keineswegs nur kleine Körnchen, | hinaufgeworfen werden, sondern auch gröberer Seesand folgt | ser Bewegung. Wenn man sich während eines heftigen Windes | mittelbar an den obern Rand stellt, so fühlt man jedes einzelne | knchen, welches das Gesicht trifft, die größern Körner verursa- | en aber sogar auf den Händen empfindliche Schmerzen. Diese | rauffliegenden Massen bilden selbst auf hohen Ufern, wie etwa | f dem Streckelberge, ohnfern Swinemünde, große Anhäufungen | n Sand. Am auffallendsten geschieht dieses vor Waldungen, | elche den Wind schwächen und daher das Weiterfliegen des San- | n verhindern. An solchen Stellen, wo das Meer gröberen Kies | d wirft, ersteigen die Körner nicht das höhere Ufer, und man sieht | af diesem nur den feineren Sand, der mit jenen zugleich von der | ee ausgeworfen war. In diesem Falle sind die Verwüstungen der | ecker und Wiesen auch viel weniger erheblich.

Flache Ufer werden vorzugsweise von dem Sande überdeckt, | nd indem die Kraft des Seewindes mit der Entfernung vom Strande | ich vermindert, so bleiben große Sandmassen in der Nähe des | Strandes liegen. Dieselben bilden hier hohe Rücken oder zusam- | menhängende Hügelreihen, die meist die Höhe von etwa 30 und | unter Umständen sogar von 100 Fuß und darüber erreichen. Die- | ses sind die Dünen. Obwohl sie ohne eine Spur von vegetabili- | scher Erde nur aus dem rein ausgewaschenen Seesande bestehn, so | sind sie doch keineswegs ganz frei von Vegetation. Verschiedene | Gräser und andre Gewächse, namentlich aber verschiedene Weiden- | Arten finden sich darauf ein und wachsen sehr kräftig, indem sie | viele Seitenzweige treiben, so lange frischer Sand sich immer von | Neuem darüber lagert. Diese Zweige geben aber selbst die Ver- | anlassung zu den Sandablagerungen, denn durch sie wird die Kraft | des Windes neben ihnen gemäßigt und sonach häuft sich der her- | anfliegende Sand hier an, und er kann auch, so lange das Strauch | ihn schützt, nicht wieder fortgetrieben werden.

Auf der Frischen Nehrung bei Pillau habe ich oft wahrgenom- | men, daß die großblättrige Sandweide, wenn sie während des Win- | ters soweit mit Sand überschüttet war, daß ihre höchsten Zweige | kaum noch einen Fuß darüber hervorragten, im nächsten Frühjahre

zahllose Seitenzweige trieb, wodurch ihre Krone sich weit ausbreitete. Jeder einzelne Trieb schoss aber während des Sommers 6 bis 8 Fuß auf. Wenn nun im nächsten Herbst und Winter wieder neuer Sand sich darüber lagerte, so wuchs dieser Hügel in wenig Jahren zu einer großen Höhe an. Viel schneller, als er entstanden war, verschwand er aber auch wieder, zuweilen sogar während eines einzigen Sturmes. Durch die Senkungen in der Dünenkette streicht nämlich der Wind mit besonderer Heftigkeit hindurch, er bildet hier Vertiefungen, die oft bis zum Niveau des Grundwassers, also nahe bis zum Meeresspiegel herabreichen. Dabei werden anscheinlich auch die anstossenden Dossirungen der Hügel angegriffen, sie gestalten sich, da der Sand einige Feuchtigkeit enthält, sehr steil, und große Sandmassen stürzen von oben nach. Auffallend ist, daß bei sehr heftigem Winde diese Sandmassen gar nicht, oder nur zum kleinsten Theile auf den Boden herabfallen, denn während sie sich lösen, werden sie schon vom Winde erfasst und fortgetrieben. In dieser Art verschwindet in wenig Stunden der ganze Hügel, und von ihm bleibt nichts übrig, als der zähe Weidenstamm, der seine Entstehung veranlaßte und der noch im Untergrunde fest wurzelt, aber nunmehr ganz entblößt auf dem Boden liegt. An demselben läßt sich deutlich erkennen, wie hoch er und mit ihm der ganze Hügel in jedem Jahre angewachsen war.

Es ergibt sich hieraus, wie veränderlich das Dünen-Terrain ist, und wie sehr die Culturen, die man hier ausführt, der Zerstörung ausgesetzt sind. Die Gefahr ist immer um so größer, je mehr man sich dem Strande nähert, denn wenn auch von den weiter zurückliegenden Dünen zuweilen große Sandmassen auf das dahinter belegene Terrain treiben, so bildet sich der stärkste Sandflug doch immer am Strande und dazu kommt noch, daß hier der scharfe Seewind der Vegetation gleichfalls nachtheilig ist. Die niedrigen Stellen pflegen zwar mit Gräsern und selbst mit Strauch sich zu überziehen, aber dennoch zeigt die Düne in der Nähe der See und zwar bis gegen 100 Ruthen Abstand von derselben sich meist als sehr kahl und öde.

Zur Characterisirung dieses Terrains muß noch des Trieb-sandes erwähnt werden, der sich hier häufig bildet. Beim Schmelzen des Schnees oder bei starkem Regen dringen große Wassermassen in den Sand ein, weil ein offener Abfluß über die Oberfläche

en der porösen Beschaffenheit des Bodens nicht statt finden. Dieses eingesogene Wasser übt gegen die tiefer liegenden Schichten einen starken Druck aus, und würde sie anfüllen, wenn nicht die leichte Beweglichkeit des Sandes dieses verhinderte. In das Wasser eine freie Sandschüttung in der Richtung von unten nach oben durchdringt, so nimmt diese Schüttung eine losere Beschaffenheit an und ihr Volum vergrößert sich, wie im ersten Theile dieses Handbuches § 7 nachgewiesen ist. Sie erhebt sich, indem jedes einzelne Körnchen seine Lage so verändert, als es nur so eben noch unterstützt wird, und möglichst große Zwischenräume offen läßt. Wenn später die Oberfläche trocken wird, und das Grundwasser unter sie herabsinkt, so giebt es doch keine Veranlassung, dieses Gleichgewicht zu stören, und der Sand bleibt Triebsand, bis zufälliger Weise, wie etwa beim Uebergehen von Menschen oder Thieren, oder auch durch die Vegetation, die sich hier entwickelt, die Körnchen ihre geschlossene Lage wieder annehmen. Sobald man aber, ehe dieses geschehn ist, unvorsichtiger Weise solche Fläche betritt, so versinkt man in dieselbe und stirbt, wie auch Hornvieh haben häufig darin ihren Tod gefunden.

Auch unmittelbar auf, oder vielmehr vor dem Strande bildet sich häufig der Triebsand. Bei starken Stürmen, welche die Küste überfluthen, pflegt der Wasserstand einige Fuß hoch zu steigen, und wenn er später wieder sinkt, so tritt das erste vordere Riff, oder der schmale Sandrücken, der sich während des Sturmes gebildet hatte (§ 5), über das Wasser heraus. Die seewärts gekehrte Böschung desselben besteht, so lange sie noch naß ist, aus einer sehr festen Ablagerung, über welche man sicher gehn und fahren kann, selbst die Räder lassen darauf oft gar keinen Eindruck erkennen. Dieses erklärt sich dadurch, daß unter dem Stosse und Drucke der Wellen die Sandkörnchen eine geschlossene Lage annehmen. Ganz anders verhält es sich dagegen mit der innern Böschung. Sobald man diese betritt, so bemerkt man, daß der Boden nachgiebt, und Pferde und Wagen versinken darin so tief, daß sie vielfach darin verunglückt sind. Diese Böschung ist der unmittelbaren Einwirkung der Wellen entzogen, sie bildete sich aber, indem die einzelnen Körnchen über den Scheitel des Rückens fortgetrieben wurden, und unter Wasser, also nur mit sehr geringem Drucke niedersanken, woher sie keineswegs sich fest ablagern konnten.

Diese Riffe ziehen sich häufig meilenweit vor dem Strande hin, sie sind aber stellenweise durch flache Sandfelder mit denselben verbunden, und alsdann hat sich jedesmal eine Oeffnung im Rücken gebildet, durch welche das übergetretene Wasser abfließt. Das Durchfahren dieser Oeffnungen ist wieder nicht ganz gefahrlos, denn auch hier pflegt der Sand sehr lose zu liegen.

Ueber die Methoden, das Dünenterrain auszuebnen, wird in Folgenden ausführlicher die Rede sein, doch muß schon hier auf eine Erscheinung hingewiesen werden, die sich zuweilen in der überraschendsten Weise darstellt. Eine dichte Wand fängt den Sand unmittelbar vor sich nicht auf, es bildet sich vielmehr eine tiefe Rinne vor ihr aus, weil der Druck der in ihrer Bewegung plötzlich gehemmten Luft Seitenströmungen veranlaßt, die den Sand fortreiben. Diese Hemmung der Bewegung, oder Schwächung des Windes bewirkt freilich in einiger Entfernung davor das Niederfallen des Sandes. Es bildet sich also hier ein Sandrücken, der aber durch eine tiefe Rinne von der Wand geschieden wird. Bei zunehmender Erhöhung des Rückens wächst derselbe oft zu solcher Höhe an, daß er die Wand vollständig vor dem Winde schützt, und alsdann hört auch die erwähnte Seitenströmung auf und die ganze Wand wird schließlichs von dem antreibenden Sande verdeckt. Die Erscheinung ist derjenigen ähnlich, die man auch beim Schneetreiben neben dichten Einfriedigungen zu bemerken pflegt.

Ein auffallendes Beispiel dieser Sandablagerungen sah man noch vor etwa 30 Jahren neben der Kirche von Alt-Pillau. Das Dorf, in dessen Mitte dieselbe früher gestanden hatte, war wegen des starken Sandfluges, der von der See her die Felder und Gärten überdeckte, weiter ostwärts verlegt, und sie allein blieb zwischen den kahlen Dünen zurück. Rings um sie war ein 12 bis 20 Fuß hoher wallartiger Sandrücken angeweht, aber an keiner Stelle erreichte derselbe die Wand der Kirche. Diese blieb vielmehr bis zu ihren Fundamenten immer frei, so daß die Kirchgänger zwar den hohen und an der innern Seite sehr steilen Rücken übersteigen mußten, aber die Thüren niemals verschüttet fanden. Die hohe Lage der Kirche, und zwar in einer kahlen Sandfläche, die sie von allen Seiten umgab, erklärt es, daß der Wind, aus welcher Himmelsgegend er auch kam, immer die gleiche Wirkung ausübte, und sonach der Sandrücken rings umher sich bilden mußte. Seit

immer Zeit ist die Fläche befestigt und jener Rücken abgeben.

Aus dem bisher Gesagten, ergibt sich bereits, daß die Dünen unter den verschiedenen Einwirkungen des Windes und unter den Flüssen der zufälligen Vegetation sich ganz unregelmäßig gestalten und fortwährenden Veränderungen unterworfen bleiben. Bald es einzelne Kuppen von verschiedener Höhe, bald längere Rücken oder auch wohl Hochebenen, die jedoch erst in mittlerer Entfernung von der See vorzukommen pflegen, während thalartige Einschnitte von größerer oder minderer Tiefe und Breite sich in die höheren Ablagerungen hinein ziehen, oder sie ganz durchschneiden. Die auf Taf. VIII angegebene Dünenbildung neben dem Dorfe Wijk mag genügen, um die Unregelmäßigkeit dieser Formation an einem Beispiele zu versinnlichen. Das allein Durchgreifende Erscheinung beruht nur darauf, daß fortwährend neue Sandmassen von der Seeseite hinzukommen, und sich im Allgemeinen unter der größeren Stärke der Seewinde immer landwärts bewegen. Die See wirft entweder den Sand aus, oder sie führt ihn von ferneren Ufern herbei, oder aber sie greift die älteren Ablagerungen an, und dieses geschieht jedesmal, so oft die Wellen eine Uebung berühren, die nicht hinreichend flach ist. Im letzten Falle übt gewöhnlich ein großer Theil des gelösten Sandes sogleich seinen Einfluß einwärts. Der Sandflug setzt sich daher, so lange die Dünen nicht vollständig gedeckt, und sonach zur Aufnahme von neuen Sandmassen vorbereitet sind, über sie fort in das Binnenland. Wenn sie hier auch keine neuen Dünen bilden, so verlieren Aecker und Wiesen ihre Ertragsfähigkeit. Vielfach sieht man, daß in Entfernungen von einer Viertel Meile und oft noch viel weiter, ein ansonsten ertragsfähiger Boden so stark mit Seesand vermengt ist, daß die Erndten sehr spärlich ausfallen, und die Grundbesitzer daher nur in längeren Perioden ihre Felder bestellen können.

Wenn der Sandflug eine Waldung trifft, so wird er durch sie unterbrochen, weil hier der Wind aufhört, und sonach keine Kraft vorhanden ist, die den Sand weiter treiben könnte. Der letztere lagert sich daher am Rande des Waldes ab, und bildet hier im Laufe der Zeit einen hohen Dünenrücken. Eine Waldung oder ein Busch pflegt indessen seewärts immer sehr regelmäßig und oft in einer langer und gerader oder wenigstens in flach gekrümmter Linie

begrenzt zu sein. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, daß einzelne Gruppen, die vielleicht bei der ursprünglichen Besaamung darüber heraustreten, durch die andern Stämme nicht geschützt werden, vielmehr einem viel heftigeren Angriffe der Winde ausgesetzt sind, daher in der Vegetation zurückbleiben und schliesslich absterben. Die vor einer Waldung oder einem Gebüsche abgelagerte Düne gestaltet sich daher jedesmal viel regelmässiger, als sonst zu geschehn pflegt. Sie bildet einen langgestreckten Rücken von ziemlich gleichmässiger Höhe, der auch seine Richtung nur in flacher Krümmung ändert.

An solchen Küsten, wo das Meer grosse Sandmassen absetzt, also der Strand sich von selbst stark verbreitet, und immer neue Dünenreihen vor den älteren sich bilden, kann es geschehn, daß durch Besaamung der Wald sich auch seewärts auf jenen regelmässigen Sandrücken fortsetzt, und sich sogar über sie hinaus ausdehnt, und daß alsdann beim späteren Verwehen des Sandes ein neuer Rücken in einiger Entfernung vor dem älteren sich ablagert, der, nachdem er eine gewisse Höhe erreicht hat, wieder mit Bäumen und Sträuchern sich überzieht. In dieser Weise erklären sich die oft vielfach hinter einander liegenden Sandrücken, die man zuweilen in gröfserer oder geringerer Entfernung vom Strande bemerkt.

Sehr auffallend zeigen sich dieselben am Darss, im Regierungsbezirk Stralsund, wo das von Südwest nach Nordost gestreckte Ufer in die Richtung von Westen nach Osten übergeht. Wenn man vom Saaler Bodden aus nach Darsser-Ort geht, so trifft man eine sehr grosse Anzahl solcher Sandrücken, die zwar mit festem Rasen und Kiefernwald bedeckt sind, aber sämmtlich in übereinstimmender Richtung sich hinziehen. Sie sind anfangs von Westen nach Osten gekehrt, doch nach und nach ändern sie ihre Lage, indem das westliche Ende immer mehr nach Norden vorrückt, und zuletzt nehmen sie dieselbe Richtung an, welche der Strand auf der Ostseite von Darsser-Ort gegenwärtig hat, indem sie von Nordwest nach Südost laufen. Zwischen diesen Rücken sieht man vielfach kleine Wasserflächen, deren Längensaxen wieder den Rücken parallel liegen. Die Annahme, daß die Vegetation der weitem Ausdehnung des Ufers hier immer folgen konnte, ist insofern wohl zulässig, als dieses Ufer vor westlichen Winden durch den Hacken geschützt war, vielleicht

nach der Prerow-Strom sehr reichlich den Sand herbeiführte, der hier absetzte.

In der Nähe von Swinemünde wiederholt sich mehrfach dieselbe Erscheinung, und zwar zum Theil noch auffallender und in größeren Dimensionen. Auf der westlichen Seite des Hafens sieht man ohnfern der See eine Anzahl Rücken hinter einander liegen, die unverkennbar das allmähliche Fortschreiten des Ufers bezeichnen, das auch gegenwärtig noch stattfindet. Vorzugsweise ausgebildet ist diese Formation im Süden von Swinemünde in der Casseberger Forst. Hier streichen die Dünen von Süden nach Norden, wo wieder parallel zum höheren und älteren Lande, dessen östlicher Rand sich von Caminke nach Häringsdorf hinzieht. Die Rücken erheben sich hier 30 bis 40 Fuß über die anschließenden Täler. Auch auf der östlichen Seite der Swine wiederholt sich mit Pritter dieselbe Erscheinung. Außerdem bemerkt man sie, wenn auch weniger ausgebildet, vielfach an andern Stellen in der Nähe der Ostsee. Die angeführten Beispiele sind so auffallend, daß sie in dem Preussischen See-Atlas deutlich dargestellt findet. Indem der Sand, so lange seine Oberfläche nicht künstlich oder durch die fortschreitende Vegetation befestigt ist, vorzugsweise durch Seewinde in Bewegung gesetzt, also nach dem Binnenlande gedrückt wird, so erfolgt hierdurch ein allmähliges Fortschreiten des ganzen Dünenterrains. In vielen Fällen und sogar gewöhnlich ist dasselbe aber nicht an Breite zu, indem es an der Seeseite durch neuen Abbrüchen ausgesetzt ist. Diese Bewegung zeigt sich nicht nur an der ganzen, mit Sand überdeckten Fläche, sondern auch einzelne besonders ausgedehnte Hügel oder Berge und vorzugsweise die langgestreckten Rücken, die parallel zum Strande liegen, bewegen sich langsam nach dem Binnenlande. Wo eine Düne dieser Art sich ausgebildet hat, nimmt sie jedesmal eine regelmäßige Gestalt, wenigstens ein ganz geregeltes Querprofil an. Ist sie alsdann vollkommen kahl und nirgend mit Kräutern oder Gräsern bewachsen. Letztere würden ihre Oberfläche fixiren und die Beweglichkeit aufheben, dieses geschieht aber nicht, denn wenn irgendwo auf ihr eine Pflanze keimt und sich ausbildet, so wird sie durch den Wind, der über die ebene sanft ansteigende Fläche mit großer Kraft hinstreicht, sogleich wieder ausgeweht, da der Boden unter ihr fortfliegt. Solche Düne gewährt namentlich bei heftigem

Stürme einen großartigen Anblick. Der Sand, der die Oberfläche ihrer seeseitigen Dossirung bildet, fliegt zur Krone herauf, und stürzt hinter derselben herab, indem aber immer neue Massen auf der einen Seite sich lösen, und auf der andern sich ablagern, so bewegt sich die ganze Düne, ohne ihre Form wesentlich zu verändern, nach dem Binnenlande und begräbt Alles, was sie auf ihrem Wege findet. Dieses ist die wandernde Düne.

Die Figuren 81 *a* und *b* zeigen ein zusammenhängendes Querprofil, das ich im Jahre 1832 quer über die Frische Nehrung, etwa 3 Meilen von der Spitze derselben entfernt, wenig nördlich von dem Dünenwärter-Etablissement Groß-Bruch, gemessen habe. Dasselbe schneidet zwei solche wandernden Dünen, die hinter einander sich von der See nach dem Haff bewegten. Die der See zunächst gelegene Düne, deren Fuß 80 Ruthen vom Strande entfernt war, hatte an der westlichen oder der Seeseite eine Neigung von durchschnittlich $5^{\circ} 52'$ gegen den Horizont oder eine beinahe zehnfache Anlage. Auf der Landseite dagegen war die Dossirung sehr viel steiler, so daß sie zuletzt nur etwas mehr, als zweifache Anlage hatte. Diese Düne, die sich $45\frac{1}{4}$ Fuß über den Spiegel der See erhob, bewegte sich gegen ein jüngeres Gebüsch, das sie beim Fortschreiten überdeckte. Bald dahinter erhob sich die zweite Düne, deren seeseitige Böschung noch flacher, nämlich $4^{\circ} 40'$ gegen den Horizont geneigt oder von $12\frac{1}{4}$ facher Anlage war. Diese Düne erreichte die Höhe von 36 Fuß über dem Spiegel der See, und die vordere Böschung, die im untern Theile $26^{\circ} 45'$ gegen den Horizont geneigt war, trat in eine ausgedehnte und üppig vegetirende Waldung, von der sie die Bäume bis nahe an ihre Gipfel begrub.

In welcher Weise die Bewegung dieser Dünen erfolgt, lehrt der Augenschein sehr deutlich. Die ganze weit ausgedehnte seeseitige Dossirung ist sehr eben und von jeder Vegetation entblößt. Außerdem besteht sie nur aus dem ganz rein ausgewaschenen Seesande, dessen Körnchen jeder Verbindung unter sich entbehren, und nur lose über einander liegen. Ein mäßiger Wind setzt sie schon in Bewegung, und indem derselbe bald von der einen, bald von der andern Seite sie trifft, so bewirkt er die Ausgleichung, die wegen der fehlenden Vegetation durch nichts verhindert wird. Die kräftigsten Winde sind diejenigen, die von der See herkommen, weil sie durch keine oder nur durch wenige und niedrige Gegenstände

geschwächt sind. Sobald diese mit einiger Stärke auftreten, so kommt die ganze Oberfläche der seeseitigen Dossirung in Bewegung. Die Sandkörnchen rollen und springen die flache Dossirung hinauf, und sobald sie diese und die Krone überschritten haben, so stürzen sie auf die landseitige Dossirung herab. Dem Einflusse des Windes sind sie hier entzogen, und indem sie nur einzeln niederfallen, so bilden sie die steilste Dossirung, in welcher der reine Sand überhaupt sich erhalten kann. Da indessen gemeinbin die stärkern Westwinde auch mit Regen verbunden sind, oder große Wassermassen von den aufschlagenden Wellen sich lösen und als feiner Nebel weiter getrieben werden, so sind die Sandkörnchen während ihrer Bewegung nicht ganz trocken und haften daher einigermaßen an einander, so daß sie eine etwas steilere Dossirung annehmen, als sie bei späterm vollständigen Abtrocknen behalten können. Hierdurch geschieht es, daß man bei heiterer und warmer Witterung fortwährend den Sand in kleinen Massen bald hier und bald dort herabrieseln sieht. Auch das dadurch verursachte Geräusch ist neben der Düne sehr deutlich zu vernehmen.

Aus den während der Jahre von 1829 bis 1832 angestellten Beobachtungen ergab sich, daß die zweite Düne in jedem Jahre um 18 Fuß gegen das Haff vordrang. Die Bewegung der ersten, seewärts belegenen, habe ich nicht gemessen, doch liefs sich aus der Verschüttung der Bäume deutlich erkennen, daß auch sie in gleicher Richtung fortschritt. Indem der Sand während des Sturmes in einzelnen Körnchen herabfällt, oder bei trockner Witterung später herabrieselt und alsdann eine etwas flachere Böschung annimmt, so zerbricht er keineswegs die Bäume, welche er trifft, ja er zerknickt selbst keinen Zweig derselben und beschädigt kein Blättchen, wie man beim Aufgraben der Dossirung in ihrem obern Theile deutlich wahrnehmen kann. doch sterben die Bäume, wenn sie hoch überschüttet sind, mit der Zeit ab. Auf der Krone der zweiten Düne sah man Gebüsche von verschiedener Höhe, die am vorderen Rande meist noch belaubt und frisch waren und zum Theil sogar ein recht kräftiges Ansehn hatten. Dieses verschwand aber in der Richtung nach der See immer mehr. Bald sah man nur abgestorbene kleine Stämme und endlich waren auch diese verrottet und vom Winde abgebrochen, so daß der hintere Theil der Krone eben so kahl, wie die anschließende Dossirung war. Diese Gebüsche, die oben stan-

den, waren nichts anderes, als die Wipfel der versandeten Bäume, und es war zugleich sehr augenfällig, wie dieselben noch längere, oder kürzere Zeit hindurch vegetirten. Die Kiefer wurde jedesmal zuerst angegriffen und starb am schnellsten ab. Die Birke, die Pappel und selbst die Eiche erhielten sich länger, am längsten dauerte aber die gewöhnliche Eller (*betula alnus glutinosa*), die mehrere Jahre hindurch noch kräftig fortwuchs und frische Zweige trieb, bis auch sie endlich abstarb. Dieses geschah vielleicht nur deshalb, weil sie nach dem Verschwinden aller übrigen Wipfel in ihrer Nachbarschaft isolirt zurückblieb und dadurch dem Angriffe der Stürme ganz bloßgestellt wurde.

Die Waldungen, die in dieser Art vom Sande begraben werden, kommen nach einer längeren Reihe von Jahren wieder zu Tage. In gleichem Maasse, wie die vordere steile Böschung vorrückt, bewegt sich auch die hintere flache in gleicher Richtung. Die Oberfläche der letzteren wird in dünnen Schichten abgehoben, während der innere Kern unbewegt an seiner Stelle bleibt, bis er selbst die hintere Oberfläche bildet und alsdann gleichfalls nach und nach abgeschält wird. Die in ihm steckenden Baumstämme treten alsdann wieder vor, aber sie sind so verrottet, daß ihnen alle Festigkeit fehlt. Das Holz in vollem Wachstume wurde plötzlich hoch mit Sand überdeckt, es trat also eine Stockung der Säfte ein, welche die Fasern zerstörte. Die Rinde leidet dabei am wenigsten und bildet sonach eine cylindrische Umbüllung, welche das Eintreten des Sandes verhindert. Im Innern derselben bemerkt man ein zellenförmiges Gefüge, dessen Zwischenwände vergleichungsweise gegen die großen, sternförmig gruppirten offenen Zellen überaus dünne und zugleich von so wenig Consistenz sind, daß man sie nur mit der größten Vorsicht anfassen darf, weil sie unter dem leisesten Drucke brechen.

Nach heftigen Stürmen, also zur Zeit, wenn die hintere Dorssirung so eben aufs Neue abgeschält ist, sieht man hin und wieder die Stämme 1 bis höchstens 2 Fuß darüber hervorragen. Wenn sie auf größere Längen entblößt werden, so brechen sie unter dem Drucke des Windes ab, und werden wie der Sand auf und über die Krone fort getrieben, wobei sie jedoch grossentheils zerbröckeln und nur an den übrig gebliebenen Scherben der Rinde zu erkennen sind. Durch vorsichtiges Aufgraben kann man leicht den Zu-

es Holzes erkennen, denn die vortretenden Köpfe der Stämme
desmal so vollständig mit Sand angefüllt, daß die Zellen gar
sichtbar werden. Diese Stämme geben wieder Veranlassung
zu einer eigenthümlichen Gefahr, die bei der mässigen Stärke der
hütteten Bäume für den Fußgänger zwar nicht von Bedeutung
ist, aber beim Reiten geschieht es leicht, daß das Pferd auf einen
mit Sand überwehten Stamm tritt, und indem sein Fuß hier
einen Halt findet, so ist der Bruch desselben kaum zu vermeiden.
Ich habe diese auffallende und gewiß großartige Erscheinung
wandernden Dünen so ausführlich beschrieben, weil hoffentlich
kein Beispiel derselben an unserm Ostsee-Strande noch aufzu-
finden sein wird, und vielleicht schon gegenwärtig keines mehr exi-
stirt. Die Dünen, deren Profil ich mittheilte, haben ihre Formen
noch ohne Zweifel im Allgemeinen erhalten, sie sind aber vollstän-
dig mit Busch und Kieferschonung überzogen, ihre Bewegung hat
schon seit einigen Jahrzehenden aufgehört.

Fig. 82 zeigt das Profil einer andern Düne auf dem südwest-
lichen Theile der Frischen Nehrung. Diese ist bedeutend höher,
als jene. Sie beginnt in ihrer ziemlich regelmässigen Ausbildung
etwa 1½ Meilen östlich von der neuen Ausmündung der Weichsel
und zieht sich auf 2½ Meilen Länge vor dem Danziger Stadtwalde
gegen Vogelsang hin, woselbst sie vielfach unterbrochen sich in
regelmässigen Dünenhügeln verliert. Es ist dieselbe Düne, von der
Krause*) spricht, und von der er zwei Profile mittheilt. Als
er dieselbe vor etwa dreissig Jahren sah, war ihre flache seeseitige
Abhangung grossentheils bereits mit Strandgräsern und Weidenstrauch
besetzt, beide schienen indessen so wenig zu gedeihen, daß sehr
häufige Ausbesserungen und Nachpflanzungen in jedem Jahre
nötig waren, und nirgend zeigte sich damals eine Spur von Vege-
tation, die von selbst oder durch Ausbreitung der künstlichen An-
pflanzung entstanden wäre. Gegenwärtig hat sich dieses sehr vor-
theilhaft geändert, und wenn ohne Zweifel auch jetzt noch zufällig
etwaige Blößen sich bilden, die man aufs Neue decken muß, so
sich doch bis zur Krone hinauf, die nach dem mitgetheilten
Profil 119 Fuß über dem Spiegel der See liegt, eine zwar dürftige
aber doch hinreichend kräftige Vegetation gebildet, um bei Stürmen

*) Der Dünenbau von G. C. A. Krause. Berlin 1850. pag. 12.

den Sand vor dem Forttreiben zu sichern, und zugleich die Sandmassen aufzufangen, welche vielleicht von der See aus aufgeweht werden. Auch selbst die landseitige sehr steile Düne, die früher ganz kahl war, ist gegenwärtig, wenn auch nur spärlich, doch mit Strandgräsern und Weidengesträuch bewachsen. K. erwähnt, daß diese Düne im Zeitraume von 23 Jahren, jährlich mehr als 1 Ruthe in den Wald vorgerückt sei.

Das hier mitgetheilte Profil habe ich im Jahre 1862 an der Stelle, wo die Düne die größte Höhe hatte und zugleich am regelmäßigsten gestaltet war, aufgenommen, nämlich bei dem Dorfe Keracker, $3\frac{1}{2}$ Meilen in östlicher Richtung von Danzig entfernt. Die Aufnahme beruht aber nicht auf einem vollständigen Nivellement, vielmehr wurde sie nur mit der Schmalkaldenschen Boussole mit dem Mayerschen Patent-Gefällemesser*) gemacht, während die Längen durch Abschreiten bestimmt wurden. Die seeseitige Neigung der Düne war durchschnittlich $5\frac{1}{2}$ Grade, und die landseitige $31\frac{1}{2}$ Grade gegen den Horizont geneigt, jene hatte also fast und diese $1\frac{1}{2}$ fache Anlage.

Beim Durchstreifen der Nehrung maß ich wiederholentlich die steilsten landseitigen Dossirungen der Dünen, indem ich zu wissen wünschte, in welcher Neigung gegen den Horizont dieselben wohl dauernd erhalten könnten. Die vorstehend angegebenen Maße wurden sehr oft an einzelnen Stellen überschritten. Die größte Neigung, die ich fand, betrug 41 Grade. Sie lag sehr geschützt vor den Winden in einem dichten Gebüsch und war mit Moos und Farnekräutern überzogen. Ihre Höhe betrug etwa 20 Fuß.

Welche Zerstörungen solche wandernde Dünen veranlassen, giebt sich aus mehrfachen Thatsachen. Von älteren Personen war mir erzählt, daß sie das Dorf Polski auf der Frischen Nehrung (dem Städtchen Braunsberg gegenüber) als eine lang ausgedehnte Häuserreihe mit dazwischen liegenden Gärten und umschlossenen Wiesen und Gebüsch in ihrer Jugend gekannt hätten. Gegenwärtig stehn zwei Gruppen von wenigen Häusern weit von einander

*) Dieses kleine Instrument, auf dessen Anfertigung der Ober-Geometer Mayer in Karlsruhe ein Patent erhalten hat, ist zu ähnlichen Aufnahmen außerordentlich bequem, doch muß darauf aufmerksam gemacht werden, daß der Verfertiger wenn nicht bei der Bestellung die übliche Eintheilung des Kreises verlangt, vielmehr die veraltete französische Centesimal-Eintheilung wählt.

Es sind die beiden Enden des ehemaligen Dorfes, denn ne ist dazwischen getreten und hat den mittleren Theil ver-

Dieselbe blieb aber hier nicht stehn, sondern setzte ihren s in das Haff fort, wo sie einen Hacken bildete, der früher ristirt hatte. Einige Meilen weiter, in der Richtung nach , trifft man auf die Stellen, wo im vorigen Jahrhundert zwei nämlich Klein-Voglers und Schmergrube standen, die gänzschwunden sind.

Vorstehenden sind die Erscheinungen auf der Frischen Nehrung beschrieben, es mögen hier noch einige Thatsachen mitgetheilt , die Brémontier in seiner sehr interessanten Abhandlung ie Dünen im südlichen Frankreich im Jahre 1780 bekannt *)).

zwischen den Mündungen des Adour und der Gironde befindet ie sehr ausgedehnte Dünenstrecke, die 31 Deutsche Meilen und durchschnittlich zwei Drittel Meilen breit ist. Die Höhe fgewehten Sandmasse wird auf 9 Toisen oder 56 Rheinlän-Fuß angegeben. Das Meer bricht von Jahr zu Jahr das weiter ab. Das Fort Cantin, zwei Stunden von Teste entfernt, 1754 im Abstände von mehr als 100 Toisen (52 Ruthen) vom erbaut, 1780 war es bereits von den Wellen verschlungen. an, an der Mündung der Gironde, gehörte früher zum festen seit langer Zeit war es bereits eine Insel geworden.

ie Beschreibung der Dünen stimmt in vielen Einzelheiten mit der Frischen Nehrung überein. Ein flacher und breiter Strand, m sich oft Triebsand bildet, begrenzt sie. An diesen schliech die unregelmäßigen Hügel und Höhenzüge mit ihren tie-nrissen und Thälern an, und sie sind hier eben so veränderwie bei uns. Die Vegetation stimmt genau mit derjenigen n, die auf und zwischen unsern Dünen sich vorfindet. Weiororden sich die Sandablagerungen zu langen Rücken, die el mit dem Strande sich hinziehn, und in das Binnenland fortten. Diese Erscheinung beschreibt Brémontier sehr ausführEr sagt: die Körnchen hüpfen die seeseitige Dossirung hinauf,

*) In den Annales des ponts et chaussées 1833. I. pag. 145 ff. findet man Abhandlung, mémoire sur les dunes, mit vielfachen spätern Mittheilungen denselben Gegenstand.

indem sie sich nie höher als 3 bis 4 Zoll über die Sandfläche erheben. Er meint, daß jedesmal nur die vorher gelockerte Oberfläche angegriffen wird, und daß die darunter liegende Sandmasse durch beigemengte Thontheilchen gebunden sei, daher erst durch Regen oder starken Nebel gelöst werden müsse, bevor sie ein Spiel des Windes werden kann. Dieses ist bei unsern Dünen nicht der Fall, auch die Neigungen der beiderseitigen Dossirungen werden viel größer angegeben, als sie bei uns vorkommen. Es wird nämlich gesagt, daß die seeseitige Böschung 10 bis 25 Grade und die landseitige 50 bis 60 Grade gegen den Horizont geneigt sei. Beide Angaben sind wohl mehr, als zweifelhaft, oder man müßte annehmen, daß der Sand wirklich sehr thonhaltig wäre. Dieses ist aber kaum glaublich, da die Dünen noch schneller, als bei uns, fortschreiten sollen, was eine größere Beweglichkeit des Sandes voraussetzt. Brémontier sagt, die Dünen rücken in jedem Jahre durchschnittlich 10 Toisen oder 62 Fuß vor, und er erwähnt, daß er selbst gesehen habe, wie einst eine Düne im Laufe einer Stunde um mehr als 2 Fuß sich fortbewegt habe. Endlich werden mehrere Beispiele der dadurch angerichteten Verwüstungen mitgetheilt, und namentlich die Waldungen benannt, die unter ihnen begraben und verschwunden sind, wie auch die Zerstörung eines Dorfes mit seiner Kirche.

Um die Beschreibung der Dünen, wie sie in ihrem natürlichen Zustande sich darstellen, zu vervollständigen, müssen noch die Pflanzen erwähnt werden, die man auf ihnen findet und die beim Dünenbau vorzugsweise von Wichtigkeit sind.

Unter diesen ist zuerst der Strandhafer oder das Sandrohr auch Helm genannt zu erwähnen (*arundo arenaria*), das sich vorzugsweise auf den Dünen neben der See vorfindet und oft große Stellen derselben überzieht. Die steifen, schmalen schilfartigen Blätter, die bis 2 Fuß lang werden, enden in eine scharfe Spitze, sind von mattgrüner Farbe und selbst wenn sie in vollem Wachthume sich befinden, ganz dürr. Bei ihrer zähen und lederartigen Beschaffenheit lösen sie sich nicht beim Absterben, sondern hängen noch mehrere Jahre hindurch an dem Stamme. Die ährenförmige Rispe steht auf dem Halme nahe senkrecht, und die Seitenzweige, die jedoch nur aus dem Wurzelknoten ausschiesßen, behalten gleichfalls diese Richtung, woher die Pflanze selbst unter der günstigsten

den sich nur wenig seitwärts ausbreitet. Sie erreicht die von 1 bis 2 Fuß, doch entwickeln sich nur neue Triebe, wenn sie mit Sand überweht ist. Geschieht dieses nicht, so vegetirt nur, ohne neue Blätter oder Zweige zu treiben, und stirbt ab. Es ergibt sich hieraus, daß der Sandhafer vorzugsgeeignet ist, den fliegenden oder den von der See frisch vorfenden Sand aufzufangen. Wenn er während des Herbstes und Winters von diesem so hoch überschüttet ist, daß die Spitzen der Stängel nur noch wenige Zolle darüber hervorragen, so entgeht sich im Frühjahr sehr kräftig der neue Trieb, die Pflanze treibt wieder empor und treibt frische Blätter und Seitenzweige, bis sie im nächsten Winter wieder große Sandmassen auffängt und sich ablagert. Als einst ein Hügel, der auf diese Weise ohne die Hilfe der Frischen Nahrung sich gebildet hatte, während eines Sturms von den Wellen erreicht und abgespült war, lagen die eingestochenen Pflanzen auf dem neuen Strande, in welchem größtentheils die Wurzeln eingewachsen waren. An der Länge der entblößten Stängel konnte man erkennen, daß sie nach und nach etwa 14 Fuß in dem von ihnen aufgefangenen Sande angewachsen waren. In Abständen von etwa 9 Zoll bemerkte man Knoten, die im Laufe der Zeit die Wurzelfasern getrieben hatten. Ein anderer Vorzug dieser Pflanze, der unter Umständen von großer Bedeutung ist, bezieht sich darauf, daß das Vieh sie nicht frisst, sie also vor den Zerstörungen gesichert ist, welche die Viehweide sonst in den Dünen verurteilt.

Nichts desto weniger muß man beim Anpflanzen des Sandrogg in mancher Beziehung vorsichtig sein. Zunächst gedeiht er im reinen Sande und wenn eine dünne Lage desselben, die er festhalten will, auf Thonboden ruht, so wächst es nicht an. Er stirbt auch ab, wenn es oft und anhaltend vom Wellenschlage heimgesucht wird. Vorzugsweise ist es aber unbrauchbar und vertritt die Stelle von eingesteckten Strohbüscheln, wenn es dem Sande entzogen wird. Aus diesem Grunde ist es zur Sicherung der Aussäierungen der Binnen-Dünen, sobald dieselben hierdurch geschützt werden, von wenig Nutzen. Es ist aber in diesem Falle sehr schädlich, insofern die langen steifen Blätter neben dem Knicken und nunmehr, indem der Wind sie hin und her fortwährend mit der harten Spitze im Sande wühlen. Sie

ziehen dabei kreisförmige Furchen rings um sich, die sich oft zu vollen Kreisen ausbilden und jeden Keim einer andern Pflanze in ihrem Bereiche durch das Auskratzen des Sandes lösen. So hatte ich einst eine kahle Fläche, die ziemlich geschützt lag, durch Anpflanzung von Strandhafer gegen das weitere Verwehen gesichert, und als ich darin Kiefern säete, so wuchsen dieselben im ersten Jahre ganz nach Wunsch auf, während des Winters wurden aber durch diese Blätter ihre Wurzeln entblößt und der Wind trieb die kleinen Pflänzchen fort. Endlich wäre noch zu erwähnen, daß dieses Gras auch insofern schädlich ist, als es beim Auffangen des Sandes die Unregelmäßigkeit der Dünenbildung wesentlich befördert, so lange es nur stellenweise aufgekommen und nicht gleichmäßig gepflanzt ist.

Eine zweite Pflanze, die beim Dünenbau gleichfalls von großer Bedeutung ist, ist der Strandweizen (*elymus arenarius*). Er unterscheidet sich von dem Strandhafer sehr augenfällig dadurch, daß seine Blätter, die etwa 9 Linien breit und $1\frac{1}{2}$ Fuß lang sind, eine frische grüne Farbe haben, sich auch beim Anfassen viel saftiger zeigen, und nicht senkrecht aufstehn, vielmehr flach auf dem Boden liegen. Die Aehre, auf einem etwa 3 Fuß hohen Halme stehend, erreicht die Länge von gegen 6 Zoll und sieht der des gewöhnlichen Hafers nicht unähnlich.

Der Strandweizen ist besonders insofern sehr wichtig, als er unter solchen Verhältnissen gedeiht, unter denen der Strandhafer abstirbt, er kann aber wiederum auch diesen nicht ersetzen, wenn die localen Verhältnisse für den letzteren günstig sind. Im Allgemeinen fordert er mehr Feuchtigkeit, als dieser, in der Höhe von 10 Fuß über dem Wasserspiegel des Meeres oder darüber wächst er nicht mehr kräftig an, dagegen leidet er nicht, wenn auch die Wellen zuweilen längere Zeit hindurch über ihn fortschlagen, doch dürfen sie natürlich nicht den Sand unter ihm ausspülen. Diese Verschiedenheit giebt sich schon sehr auffallend dadurch zu erkennen, daß man auf den natürlichen Sandablagerungen ihn vorzugsweise am Fusse der Dünen, also auf dem höheren Theile des Strandes vorfindet, während die Düne selbst sich mit Strandhafer überzieht. Auch ein thoniger Untergrund behindert ihn nicht, wenn derselbe nur wenigstens 1 Fuß hoch mit Sand überdeckt ist. Sobald man ihn aber auf höheren Flächen anpflanzt, so gedeiht er

sonders leidet er, wenn frischer Sand ihn ganz überkann ihn also nur anwenden, um den niedrigen Fuß halten, und sobald der Boden sich hinreichend erhöht, durch Strandhafer ersetzen. Vor dem Letzteren hat wesentlichen Vorzug, daß er Seitentriebe wirft, die in, wodurch er bald grössere Flächen dicht überzieht. llen, wo die Viehweide in den Dünen gestattet ist, Anpflanzung in sofern höchst bedenklich, als er ein sehr er bildet, und sowol das Hornvieh, als auch vorzugs- davon nicht abzuhalten sind, und die Anpflanzungen auf diese beschädigen.

ge Vegetation auf dem Strande selbst, wie auch auf legt sich mit Ausnahme des Weidenstrauches, von dem de sein soll, nur in vereinzelter Pflanz zu zeigen. ren zunächst dieselben Gewächse, welche den Groden der Bildung begriffenen Marschboden überziehn (§ 14). Kali, als auch *Salicornia herbacea* findet man nicht immer nur vereinzelt, auf dem Strande, wenn dieser reinem Seesande besteht. Die Sternblume (*Aster tri-* t sich dagegen häufiger und bildet selbst grössere

lkraut (*Arenaria peploides*) findet man häufiger. Die- war sehr kleine aber überaus zierlich gebaute Pflanze, inen eiförmigen dicken Blätter sich kreuzweise gegen- der Zweig, woran sie sitzen, eine ganz regelmässige amide bildet. Man sieht oft Flächen von etwa 100 usdehnung damit überzogen. Ihre vielfachen Wurzeln be scheinen den Sand sehr gut zu halten, doch sind als künstlich angepflanzt worden.

len Veilchen (*Viola canina*) und dem Stiefmütterchen (*parviflora*) begegnet man auch sehr häufig auf ganz icken. Dasselbe ist der Fall mit der Seedistel (*Helianthus scaberrimus*), die mit ihren blauen ganz steifen, und mit zten Blättern im reinen Sande oft einen 3 bis 4 Fuß bildet. Endlich wäre noch der großblättrige Huflattich (*Petasites*) zu erwähnen, der sich jedoch vorzugsweise dem Untergrunde findet. Er ist besonders vor hohen Thonufeln von grosser Wichtigkeit, indem er den

Fuß derselben mit seinen sehr großen Blättern vollständig überdeckt und den darauf getriebenen Sand sehr sicher festhält. Doch kommt derselbe zuweilen, jedoch alsdann immer nur vereinzelt, auch an solchen Stellen des Strandes vor, die aus reinem Seesande bestehn.

Die vorstehend genannten Pflanzen sind diejenigen, die man auf dem Strande selbst und auf kahlen Dünen am häufigsten antrifft, ich muß dabei aber erwähnen, daß ich aufs Aeufserste überrascht war, eben diese Pflanzen und zwar in demselben Verhältnisse ihres Vorkommens, und ohne daß ich irgend eine andere dazwischen entdecken konnte, am Strande des Mittelländischen Meeres auf der südlichen Küste von Frankreich wieder zu finden. Bei Port d'Agde, zwischen Cette und Béziers, an der Mündung des Herault, wo man die Festlegung der Dünen versuchte, überzeugte ich mich hiervon, und die Mittheilungen in den Französischen Zeitschriften über die Dünen zwischen dem Adour und der Gironde, besagen, daß auch dort die Flora genau dieselbe ist. Der Unterschied von 11 Breitengraden hat also keinen Einfluß auf die Vegetation am Meeresstrande. Bei den Dünen-Culturen selbst trat ein solcher freilich sehr auffallend hervor. Während man bei uns Kiefern sät, fand ich am Mittelländischen Meere Schonungen von Pinien und Tamarinden.

Im Innern der Dünen und zwar vorzugsweise in den Thälern, doch auch vielfach auf den Abhängen der Kuppen und auf diesen selbst, soweit sie nicht den Stürmen ganz bloßgestellt sind, findet sich häufig ein Gras, welches ganz besonders zur Festlegung der Dünen beiträgt. Dieses ist die Sandegge oder das Sandriedgras (*Carex arenaria*). Seine Blättchen sind nur etwa 3 Zoll lang, aber diese Pflanze zeichnet sich aus durch die langen Seitentriebe, die sie in allen Richtungen verbreitet. Man sieht häufig auf dem kahlen Sande, daß diese Triebe einer neuen Pflanze sich in sechs Strahlen umher ziehn, und jeder hat in Entfernungen von 4 bis 6 Zoll einen Knoten, der wieder Wurzeln und Blättchen treibt, also eine selbständige Pflanze bildet. Letztere leidet aber nicht, wenn zufällig unter ihr der Sand fortweht, also die Wurzel entblößt wird, denn die Stiele, die zu den andern herüberreichen, geben ihr die nöthige Nahrung. In einem Sommer überzieht eine einzige solche Pflanze oft eine Quadratruthe Oberfläche, und durch die neuen Sei-

striebe bildet sich in den nächsten Jahren ein ganz dichter und dicker Rasen aus. Ich ließ einst dieses Gewebe von Wurzeln ausheben und in kleine Stücke zerschneiden. Die letzteren wurden in Reihen im kahlen Sande ausgestreut und überzogen denselben bald mit zahlreichen Ranken.

Was die Sträucher betrifft, die man auf den Dünen findet, so kommen, abgesehen von den wilden Rosen, die immer nur vereinzelt vorkommen, vorzugsweise verschiedene Weiden-Arten genannt werden. Hauptsächlich ist es die Sandweide (*salix arenaria*), die sich dem Strande am meisten nähert, und auf die Dünenbildung keinen wesentlichen Einfluß ausübt, wie schon bemerkt wurde. Sie hat breite zugespitzte Blätter, die auf der obern Seite dunkelgrün, auf der untern dagegen mit Haaren dicht besetzt, fast weiß sind. Sie pflegt nur eine mäßige Höhe zu erreichen, vegetirt aber desto so kräftiger, je höher sie mit Flugsand überdeckt wird.

Sehr ähnlich ist ihr in der ganzen Erscheinung eine andere Weide (*salix daphnoïdes*), deren Zweige von dunkelrother Farbe sind, aber bei frischen Seewinden sich wie Pflaumen mit blauem Reife überziehen, der bei der Berührung sogleich abgewischt wird und verschwindet. Oftmals sah ich, daß diese Weide, wenn sie während des Winters ganz mit Sand überdeckt war, Schößlinge trieb, die bis 10 Fuß hoch waren.

Auch die Korbweide (*salix viminalis*) findet sich häufig auf den Dünen, so wie viele andre, mehr oder weniger bekannte Arten derselben. Ich erwähne unter diesen nur noch die kleine Silberweide (*salix rosmarinifolia*), die kaum 1 Fuß hoch über den Boden sich hebt und nur in Niederungen bleibt, welche bereits durch Riedgras festgelegt sind. Sie verbreitet sich aber hier in weiten Flächen so sehr, daß sie jede andere Vegetation verdrängt.

Es ist überflüssig, von den verschiedenen Bäumen zu sprechen, die auf den Dünen vorkommen, weil in mäßiger Höhe und auf dem bereits festgelegten Seesande wahrscheinlich jeder Baum wächst. Auf der Frischen Nehrung sieht man Birken, Ellern, Pappeln, Eichen, Akazien und viele Andre. Die Eller oder Else scheint zwischen den Dünen vorzugsweise zu gedeihen und zwar eben so wohl die gemeine (*alnus glutinosa*), wie auch die weiße Eller (*alnus incana*). Man trifft sie aber nicht nur in den Niederungen, sondern selbst auf Abhängen, und auf höher belegenen Sandflächen

wächst sie leichter an, als jeder andre Baum. Ihre Cultur ist auch in sofern sehr wichtig, als der dichte Schatten, den sie um sich verbreitet, Veranlassung giebt, daß der Boden sich sehr schnell mit einer Grasnarbe überzieht, was bei der Birke und Weide nicht geschieht, oder doch nicht durch die Anpflanzung derselben veranlaßt wird. Die älteren Dünen, die in früheren Zeiten gebildet und durch neue Ablagerungen vom Meere weiter entfernt sind, sieht man jedesmal mit Kiefernwaldungen überzogen. Bei der Dünen-Cultur verfolgt man auch vorzugsweise den Zweck, Kiefernachonungen auf den Sandflächen aufzubringen.

Schließlich muß noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß der ganz reine Seesand keineswegs so unfruchtbar ist, als man glauben sollte. Die Vegetation darauf wird unbedingt durch die feuchte Luft, in Folge der Nähe der See, wesentlich begünstigt, außerdem hat aber auch vielleicht die vielfache Berührung mit der Luft den Sandkörnern einen Theil ihrer Sterilität benommen. Sobald eine Niederung zwischen den Dünen gegen Sandflug geschützt ist, und außerdem von den rauen Winden nicht getroffen wird, so entwickelt sich darauf eine sehr kräftige Vegetation. Gemüse aller Art, so wie auch fruchttragende Sträucher, wachsen darauf und auf den Dünen in Frankreich ist der Weinbau wiederholentlich mit Erfolg versucht worden.

§ 26.

Die Vordüne.

Aus vorstehender Beschreibung ergibt sich, daß die unbefestigten Dünen nicht nur an sich beinahe ganz werthlos, sondern auch für die angrenzenden Fluren höchst gefährlich sind. Die Jagd, sowie eine spärliche Viehweide bieten allein einigen Ertrag von solchem Terrain. Durch letztere wird jedoch der Boden immer wieder aufgelockert und Verwüstungen an denjenigen Stellen aufs Neue veranlaßt, wo vielleicht die Sandfläche mit einiger Vegetation sich bereits überzogen hatte. Dieses Dünenterrain hat keine abgeschlossene Grenze, sich selbst überlassen, dehnt es sich vielmehr landwärts immer weiter aus. Theils begraben die wandernden Dünen unter

in die Waldungen, theils aber fliegt der Sand in weite Ferne und zerstört die Fruchtbarkeit der Aecker und Wiesen, bis er sie endlich in kahle Sandsteppen verwandelt, deren schädliche Wirkungen nunmehr wieder weiter verbreiten. Endlich kommt noch hinzu, als auch der Meeresstrand im Allgemeinen immer weiter zurückweicht und der vordringenden Düne folgt.

Durch den dauernden Abbruch des Ufers werden große Sandmassen gelöst, die aber nicht in die Tiefe des Meeres versinken, sondern an dieser oder an einer andern Stelle wieder aufs Ufer geworfen werden, und indem sie die Bildung neuer Dünen veranlassen, mit dazu beitragen, die dahinter liegenden Flächen zu versanden. Den ferneren Abbruch der Ufer muß man daher sicher verhindern, wenn man das Uebel in seiner Wurzel angreifen und dauernde Erfolge herbeiführen will. Dieses Ziel ist in sehr vielen und gewiss in den meisten Fällen dadurch leicht zu erreichen, daß man eine Vordüne schafft, die dauernd den aus der See aufgeworfenen Sand aufnimmt und zugleich das dahinter liegende Ufer vor der die Dünen gegen ferneren Abbruch schützt, so wie auch von denselben den Sandflug abhält. Obwohl man gewöhnlich auf die Bildung und dauernde Instandhaltung der Vordüne wenig Aufmerksamkeit verwendet, so wird sich doch aus den folgenden Mittheilungen ergeben, daß gerade hierdurch die günstigsten Resultate und die vollständige Festlegung und Cultur der dahinter belegenen Dünen gelungen ist. So oft der Strand keinem besonders starken Angriffe ausgesetzt ist, läßt sich die Vordüne mit sehr geringen Mitteln darstellen. Wahrscheinlich machen nur vortretende Uferecken hiervon eine Ausnahme, die also durch unmittelbare Deckung oder durch Einbaue geschützt werden müssen. Auf der Frischen Nehrung, soweit die Bildung der Vordüne versucht ist, war dieselbe damals sehr leicht darzustellen und zu erhalten.

Gewöhnlich versteht man unter Dünenbau nur die Festlegung und Cultur der kahlen Sandflächen, und obwohl man ohne Zweifel hierdurch zuweilen sehr befriedigende Resultate erreicht und ausgedehnte Gebüsche und Waldungen geschaffen hat, so bleiben diese Anlagen doch in ihrer Existenz bedroht, so lange das Meer ihnen immer näher rückt und immer frische Sandmassen vom Strande auf darauf geworfen werden. Wenn aber endlich das Vorufer soweit verschwunden ist, daß die Wellen den Waldboden wieder er-

reichen und Theile desselben mit den darauf stehenden Bäumen herabstürzen, so glaubt man dem ferneren Abbruche dadurch Einhalt zu thun, daß man das Ufer abgräbt und es mit einer flachen Dossirung versieht, die gemeinhin noch mit Strandgräsern bepflanzt wird. Hierdurch wird indessen nichts erreicht, denn wenn die Dossirung auch genügend wäre, um im Binnenlande den Absturz des Hochufers zu hindern, so hat sie nicht entfernt die nöthige flache Anlage, um dem Wellenschlage zu widerstehn. Gleich nach den ersten Stürmen sieht man gewöhnlich in solchen Fällen, daß diese Böschung, wenn sie auch 2 und selbst 3 füssig abgegraben war, im untern Theile ganz verschwunden und stellenweise bis zu großer Höhe steil abgebrochen ist. Es entsteht sogar oft die Frage, ob die Abbrüche nach solcher kostspieligen Abflachung nicht noch stärker geworden sind, als sie früher waren. Dasselbe Experiment pflegt indessen nach Verlauf einiger Jahre aufs Neue und mit gleichem Erfolge wiederholt zu werden. Zuweilen versucht man auch, durch starke Zäunungen, die in den verschiedensten Richtungen gezogen werden, einen sichern Uferschutz zu erreichen. Mit Verwunderung habe ich mehrfach die eigenthümlichen Configurationen dieser Werke gesehn, die wahrscheinlich vorzugsweise strategischen und fortificatorischen Reminiscenzen ihren Ursprung verdanken, aber jedesmal eben so erfolglos, wie die künstlichen Böschungen waren.

Augenscheinlich ist es nicht nur die Aufgabe, das bestehende Ufer gegen ferneren Abbruch zu sichern, sondern man muß auch den aus der See ausgeworfenen Sand unmittelbar am Strande auffangen, damit er nicht weiter landwärts fliegt. Durch Letzteres wird aber auch der erste Zweck am sichersten erreicht und die Cultur der Sandflächen so sehr erleichtert und vorbereitet, daß sie im Laufe der Zeit von selbst erfolgt. Außerdem erreicht man hierdurch noch den großen Vortheil, daß die Quantität des am Strande treibenden Sandes sich wesentlich vermindert, also auch die Hafenmündungen in der Nähe weniger der Gefahr der Versandung ausgesetzt sind (§ 12).

Aus den vom Meere ausgespülten Sandmassen bildet sich die Vordüne. Die Darstellung und Erhaltung derselben berührt nicht die Forstcultur, gehört also ausschließlich dem Wasserbau an. man bemerkt auch nicht leicht, daß auf sie einige Aufmerksamkeit ver-

st wird, so lange der Dünenbau in den Händen von Forstern ist.

Über die Bildung des Strandes ist bereits früher (§ 5) schon gesprochen worden. Die Wellen laufen auf ihn auf und geworfene Wasser, soweit es sich nicht in den Boden einliefst auf ihm wieder nach der See zurück. An der Stelle, wo zurückfließende Wasser der neuen Welle begegnet, wird es von tieferem Wasser begrenzt. Ist seine Breite hinlänglich groß, daß die Welle darauf hin und zurück laufen kann, so der neuen Welle begegnet, so wird der Strand, so wie dahinter belegene Ufer nicht angegriffen, obwohl die ganze Schicht von jeder einzelnen Welle in Bewegung gesetzt und her getrieben wird. Die losen Sandkörnchen fallen in die Tiefe herab, im Gegentheil wirft die neu anlaufende Welle Sandmassen herauf, die sie von den Ablagerungen im Wasser gelöst hat.

Für diese Bedingungen erfüllt werden, muß der Strand eine gewisse Höhe und Neigung gegen den Horizont haben. Was die Höhe betrifft, so kommen dabei vorzugsweise die Wasser der See in Betracht, die sich zur Zeit des stärksten Wellenstoßes darstellen. Sie pflegen alsdann um einige Fuß über die Ufer zu erheben und so geschieht es, daß bei schwachen Wellen der Strand trocken bleibt und selbst bei stärkeren Wellen nur einer ganzen Breite überspült wird. Daß die Neigung des Strandes sehr geringe sein muß, ist schon bei Gelegenheit der Besprechung (§ 5) erwähnt worden. Sobald sie steiler wird, so greift die neue Welle ihn an, und es bildet sich in ihm eine scharfe Kante, die sehr schnell weiter landwärts rückt. Aus den mit der Zeit angestellten Beobachtungen ergab sich schon als Minimum eine Neigung von 1 : 10 und in einem Falle stieg sie schon auf 1 : 14. Die auf der Frischen Nehrung gemessenen Profile zeigen viel flachere Böschungen, nämlich das Profil Fig. 81 hat eine Neigung von 1 : 15, das Profil Fig. 82 sogar 1 : 33. Bei wiederholten Messungen des Strandes an andern Stellen, wo er sich regelmäßig ausbildet, fand ich niemals eine Stelle, wo er steiler, als 1 : 20 wäre. Wollte man also durch Abgraben des Ufers einen Strandrand bilden, so müßte man wenigstens dieses Maass

Demnächst darf der Strand aber auch nicht gar zu flach sein, oder in diesem Falle muß seine Breite um so größer werden. Nimmt aber ein niedriger Strand die horizontale Lage an, oder senkt er sich gar vor dem dahinter liegenden höheren Ufer, wie nicht selten geschieht, so wird dieses Ufer bei starkem Wellenschlage jedesmal getroffen, und bricht also ab.

Das Profil des Strandes, wenigstens seine Neigung, wenn auch nicht seine Breite, hängt indessen nicht allein von den Wellen, sondern zum Theil auch unmittelbar von der Einwirkung des Windes ab. Die feineren oder gröberen Sandkörnchen sind, sobald sie trocken werden, ein Spiel des letzteren, und nicht nur diejenigen Winde, welche mehr oder minder zur Küste parallel gerichtet sind, sondern auch schwächere Seewinde, die noch keinen erheblichen Wellenschlag veranlassen, treiben sie vor sich her. Treffen die letzteren gegen ein hohes Ufer, so entsteht davor ein Luftdruck, der den Sand in die Höhe treibt, und seine Ablagerung unmittelbar vor der steilen Wand nicht gestattet. Noch augenfälliger ist diese Erscheinung, wenn der Wind etwas schräge und selbst wenn er ganz parallel zum Ufer gerichtet ist. Es bilden sich alsdann vollständige Rinnen vor dem letzteren aus, deren Einsenkung man sehr deutlich wahrnimmt. Man sieht oft vor solchen Ufern diese Senkungen, während der Strand bis an sie heran von der See aus sehr gleichmäßig ansteigt. Diese Erscheinung ist dieselbe, von der schon oben die Rede war (§ 25), als die Mittheilung über die Kirche in Alt-Pillau gemacht wurde, woselbst hohe Sandablagerungen rings umher sich bildeten und dennoch niemals die Umfassungswände berührten.

Dieselbe Erscheinung wiederholt sich vor allen geschlossenen Wänden, wie etwa vor dichten Dielenzäunen, wogegen ein Staketenzaun den Sand auffängt und von demselben leicht ganz verschüttet wird. Daß in gleicher Weise wie dieser, auch ein Gebüsch wirkt, besonders wenn es entlaubt ist, wurde schon bei Beschreibung der Dünen erwähnt, und es ergibt sich hieraus, daß man den fliegenden Sand sehr sicher an beliebigen Stellen auffangen kann, wenn man daselbst Strauchzäune errichtet, die jedoch nicht dicht, sondern so lose sein müssen, daß sie vielfache und weite Oeffnungen enthalten.

Diese Erfahrungen rechtfertigen das Verfahren, das man im

lange mit Erfolg angewendet hat. Bevor dieses
 n wird, muß noch darauf aufmerksam gemacht
 r Wind, wenn er frei auf eine ausgedehnte Sand-
 elbe jedesmal ausebnet. Die vorragenden Erhö-
 nten greift er vorzugsweise an, und die Vertiefun-
 ner Einwirkung am meisten gesichert. Er schnei-
 ab und füllt diese aus, oder er formt die unregel-
 a bis zu einem gewissen Grade zu Ebenen um,
 leicht Gräser oder andre Körper stellenweise den
 der sich neben ihnen ablagert. Auf dem Strande
 tztteres nur selten vor, woher die Ausebenung sich
 adig darzustellen pflegt, und zwar um so mehr, da
 s Windes nicht constant, sondern fortwährenden
 unterworfen ist. Es erklärt sich aber hieraus die
 Erscheinung, daß wenn man zur Bildung der Vor-
 rung eines noch niedrigen Sandrückens am Strande
 elbe nach kurzer Zeit ohne weiteres Zuthun eine
 igte Oberfläche annimmt, die sich an jenen Rücken
 ierdurch die Bedingungen erfüllt, die zur dauern-
 es Strandes, sowie zu seiner Befähigung, immer neue
 zunehmen, nothwendig sind. Wenn die Vordüne
 rößerer Höhe erhebt, so schließt sich freilich der
 : an ihre Krone an, und es tritt gewissermaassen
 nifs wieder ein, als wenn sie ein höheres Ufer wäre,
 alsdann, damit sie ihren Zweck dauernd erfüllt, da-
 sie die äußere flache Dossirung behält, und dieses
 h, daß man sie seewärts aufs Neue verbreitet.

ibung des Verfahrens, wodurch die Vordüne aus-
 ill ich mich ausschliesslich auf die Mittheilung der
 ränken, die auf der Frischen Nehrung und
 en Theile derselben auf etwa 3 Meilen Länge an-
 ir ist auch nicht bekannt geworden, daß man sonst
 uf gleiche Vorsicht verwendet hat, auch habe ich
 regelmässige Vordüne wie hier gesehn, und nirgend
 Culturen der Binnen-Dünen, die durch sie dem
 er See her entzogen wurden, so günstige Erfolge,
 gehabt.

genaue Aufnahme des Strandes, welche den

Rand der Dünen bezeichnet, so wie auch die Ermittlung der Höhenverhältnisse vorangehn muß, bedarf kaum der Erwähnung. Der Strand unterschied sich hier wesentlich von manchen andern Ostseeküsten, bei denen durch fortgesetzten Abbruch hohe und bewaldete Ufer bis an ihn herantreten. Letztere pflegen in regelmäßigen Linien den Strand zu begrenzen, während auf der Frischen Nehrung bald einzelne Dünen weit vortraten und nur einen sehr schmalen Strand vor sich ließen, bald aber ausgedehnte niedrige Flächen sich an ihn anschlossen, die weit landeinwärts zwischen den Höhenzügen und Kuppen hineinreichten, und bei starkem Wellenschlage sich mit Wasser anfüllten.

Zunächst kam es darauf an, die Linie zu bestimmen, in der die Vordüne gezogen werden sollte. Dabei war es Bedingung, daß der Strand vor derselben hinreichende Breite behielt, und im Allgemeinen wurde zugleich dahin gesehn, daß die bestehenden Dünen hinter der Vordüne blieben. Diese verdienten jedoch keine besondere Berücksichtigung, insofern sie nicht nur an sich sehr veränderlich waren, sondern sie auch in unmittelbarer Nähe der See ganz beseitigt werden sollten, um eine regelmäßige Vordüne darzustellen. Hiernach wurde die Richtung der letzteren nach der Charte in großen geraden oder doch nur sehr sanft gekrümmten Linien bestimmt, die etwa einen 10 Ruthen breiten Strand vor sich hatten und der allgemeinen Richtung desselben folgten. Sehr häufig war diese Linie durch vortretende Dünen unterbrochen, und hin und wieder geschah es sogar, daß einzelne Sandkuppen ganz isolirt zwischen ihr und dem Meere blieben.

In dieser Linie, soweit sie frei war, wurde nun ein Strauchzaun ausgeführt. Man hatte solche in früherer Zeit wohl als Flechtzäune dargestellt, doch war die Wahl dieser soliden Constructionart in den meisten Fällen ganz entbehrlich, da die Zäune gemeinlich schnell versandeten, also ihren Zweck schon vollständig erfüllt hatten, ehe sie bei Herbststürmen einem starken Angriffe ausgesetzt waren. Es genügte demnach, sie nur aus eingegrabenen Reisern zu bilden, und selbst hierbei zeigte es sich, daß sie um so wirksamer waren, oder den Sand um so schneller auffingen, je mehr sie freie Zwischenräume zwischen sich ließen. Ich liefs das Strauch daher so weitläufig stellen, daß dasselbe nur etwa die Hälfte der Fläche deckte, und die andere Hälfte freier Zwischenraum blieb.

alsdann aber leicht vom Winde durchbrochen werden. Die Sandablagerung davor ziemlich unregelmässig, ein zweiter ganz gleicher Zaun im Abstände von 10 Fufs gestellt, der den ersten unterstützte und zugleich spätern Vordüne eine Krone zu geben.

Die grösste Regelmässigkeit in der Ablagerung des Sandes kam es darauf an, diesen Zäunen sogleich die gemessene Höhe zu geben. Die Sandschüttung, die davor lag, sollte mit Strandgräsern bepflanzt werden, sie 2 Fufs hoch über dem mittleren Spiegel der See zu sein, dafür aber meist auch die Höhe von 10 Fufs annehmen, ohne dass die Zäune mehr, als 4 Fufs über die Sandfläche vortraten. Sie erhielten aber keineswegs eine Höhe über dieser, vielmehr wurden sie horizontal gehalten, um so niedriger, je höher der Sand sich ablagerte.

Die Konstruktion war hiernach folgende. Das Material, welches solchen Zaunwand dienen sollte, brauchte keine besondere äusseren Falles von 6 Fufs zu haben, doch von 4 Fufs und selbst darunter fanden noch 13. Eine grosse Stärke war ganz entbehrlich, denn Beschneiden nachtheilig und störend. Auch welche Holzart man wählte, nur eigneten sich Kiefernzweige, weil dieselben eine zu dichte Masse davor aufgetriebene Sand, der nicht mit der Vordüne hindurchfliessen konnte, solchen Zaun umwarf. Unter spitzen, oder stumpfen Winkeln aus den Wänden, machte keinen Unterschied. es musste nur sein, dass die Zwischenräume etwa die Hälfte der

Wand beigeschafft war, das grosstentheils in längeren, kleineren ganzen Stämmen bestand, so wurden die dicken enden Zweige abgehauen. nach den Längeren Stücken theils zu Rückstangen zugeschnitten, theils in Lagen von 5 und 6 Fufs verhaue-

in der vordünen gesteckten Linie ein Graben mit einem Spatenstich und zwei Spaten breit. Der Sand

hatte gemeinhin soviel Feuchtigkeit, daß er dabei nicht zusammenfiel. Geschah dieses, so mußte der Graben eine Breite erhalten, denn es kam darauf an, daß seine Sohle 8 Zoll Breite frei war. In dieser wurde nunmehr noch eine Rinne, deren Höhe und Breite dem Blatte des gewöhnlichen gräber-Spatens gleich war, ausgehoben, und in diese wurden die Reiser ein, indem die Stamm-Enden derselben nach unten wurden. In mäßigen Entfernungen von einander waren zwar auf der Seeseite Pfählchen eingeschlagen, welche bezeichneten, die der Zaun erhalten sollte. Nach die die Arbeiter das Strauch auswählen, welches sie in die stellten, und dessen Wipfel-Enden die Pfahlköpfe stete

Fig. 78 zeigt im Querschnitte den Graben mit der tiefe in demselben und das eingestellte Strauch, so wie auch mäßig auf beiden Seiten ausgeworfenen Sand, und eine Einrichtung der Höhe eingeschlagenen Pfahl. Das Zuschütten muß dem Ausheben desselben sehr schnell folgen. Sand bei den steilen Böschungen nicht lange steht, bald zusammenstürzen, auch der fliegende Sand leicht abzuwehen. Zu diesem Zwecke wird in dem breiteren Graben, den man machen, sogleich von einem dritten die tiefere Rinne, und unmittelbar darauf stellt ein vierter Arbeiter getragene Strauch ein und zwei Andere werfen wieder auf beiden Seiten den ausgehobenen Sand zurück und treten ihn fest.

Indem das Strauch nur etwa 16 Zoll tief im Sand 4 Fuß darüber vorsteht, so würde es dem Angriffe seltener Windes nicht den nöthigen Widerstand leisten können. Eine anderweitige Unterstützung ist daher noch nothwendig, die man aber nur auf der Landseite, also gegen die See bringen, weil die Winde, die vom Lande her kommen, die vorliegenden Dünen so geschwächt sind, daß sie keine Abweh- gung des Zaunes besorgen lassen. Zu diesem Zwecke werden bereits erwähnt, die stärkeren und längeren Aeste verwendet, die mit dem Strauche zugleich angefahren werden. Pfählchen von 5 bis 6 Fuß Länge, die bei niedrigen Zäunen kürzer sein dürfen, wurden mit einem Schlägel in 4 bis 6 Fuß Abstand von einander möglichst nahe neben dem eingesetzten Strauche eingetrieben, so daß ihre Köpfe etwa 6 Zoll tiefer star-

tpfähle. Alsdann legte man die Rückstangen zwischen diese Strachwand, indem man letztere zurückdrückte, und band 1st Bindweiden an die Pfähle. Schliesslich wurde noch mit tenscheere der Zaun in der Höhe der Richtpfähle horizonchnitten. In dieser Weise kann man mit geübten Arbeiter einem Tage 100 Ruthen Zäunung und selbst mehr darstellen. 79 a und b zeigt den fertigen Zaun im Querschnitte und nsicht von der Landseite.

n die Sandfläche, auf der die Zäunung ausgeführt wird, re Lage hat, so daß der Zaun sie nur um 2 Fufs, oder h weniger überragen darf, so vereinfacht sich die Construcfern, als in diesem Falle die Unterstützung durch die Rückbehrlich wird. Dieses geschieht namentlich jedesmal, wenn sich an eine Düne anschliesst. Auch in diesem Falle aber in der vorher bestimmten Horizontalen, bis ans Ende tten, so daß er zuletzt nur noch etwa 6 Zoll über den ragte.

n dagegen die Linie in sehr niedriges Terrain fällt, so daß 6 Fufs oder darüber hoch werden würde, so gewährt die ie Construction nicht mehr die nöthige Sicherheit, und so weniger, als eben wegen der niedrigen Lage der Sand he feuchter ist und sonach fester gebunden bleibt, und ie Versandung des Zaunes erst später eintritt. Solche uren überdiess gemeinhin die Mündungen, die zu weit ausNiederungen im Innern der Dünen führen. Bei starkem lage füllten sich diese mit Wasser an, und später floss wieder seewärts aus. Die daselbst ausgeführten Zäune aber nicht nur dem Stosse des Windes und der Wellen, uch der Strömung in der einen und der andern Richtung 1. In solchem Falle, der sich einige Mal auf der Neblerholte, wendete ich Flechtzäune an, deren Pfähle in stand von einander eingeschlagen und so lang waren, daß e die beabsichtigte Höhe des Zaunes erreichten. Es würde uch solcher Flechtzaun nicht dem Andränge des Wassers den haben, wenn er gleich in seiner ganzen Höhe ausgeorden wäre. Die Flechtruthen wurden daher zunächst nur fs hoch und zwar wieder mit weiten Zwischenräumen umen, und hiermit nach und nach in demselben Maafse fort-

gefahren, wie die Sandablagerung sich erhöhte. Vortheilhaftes es vielleicht sein, durch solche Flechtzäune die Erhöhung des nur in soweit zu veranlassen, daß später noch Str darüber gestellt werden könnten. Hierdurch würden die vgeren Pfähle entbehrlich geworden sein, die in den Gebü Dünen meist nicht leicht zu beschaffen waren.

Sobald der eine Strauchzaun ausgeführt ist, so err im Abstände von 6 Fuß hinter demselben einen zweite seiner Construction und in seiner Höhe mit dem ersten g einstimmt. Die Sandablagerung vor und zwischen be alsdann sehr schnell zu beginnen. Bei den Dünenbaut Frischen Nehrung ereignete es sich häufig, daß bei Wiede der Arbeit in der nächsten Woche, die vor zwei Tagen Zäune schon vollständig mit Sand überdeckt gefunden w wenn inzwischen sehr heftige Winde, namentlich in de des Strandes geweht hatten, so waren selbst die Strauchb ständig versandet, so daß sie das Ansehn von Dünenh genommen hatten und nur mit Mühe wieder abgegraben w ten. Diese sehr schnellen Erfolge gewähren dem Dü ganz besonderes Interesse. Durch keine andere Arbeiten der Wasserbaumeister in so kurzer Zeit und mit so ge teln eine so wesentliche Umgestaltung des Terrains u so günstige Resultate herbeiführen, als durch diese Anl

Fig. 80 zeigt in der punktirten Linie die erste Sand neben solchen Zäunen, an die der ganze Strand bald sanften Böschung sich anzuschließen pflegt. Auf der i des ersten Zaunes lagert sich der hindurchgedrungene S bis 2facher Anlage. Auch zu beiden Seiten des hintern merkt man in Kurzem einen schwachen Sandrücken. I winnt indessen seine volle Höhe nicht früher, als bis de ganz versandet ist, weil alsdann erst die Körnchen üb fliegen können. Die Figur zeigt die Sandablagerung, w Zäune später zu veranlassen pflegen.

Diese Zäunungen kann man augenscheinlich in je zeit ausführen, gemeinhin geschieht es indessen im Fr im Spätherbste, weil alsdann die Arbeiter am leichtesten fen sind, auch die Graspflanzungen alsdann gleichzeitig men werden können.

Die Vordüne soll den von der See her auftreibenden Sand aufhalten. Sie kann dieses nicht erfüllen, wenn sie nur den kahlen Sand bildet, der an die Zäunungen sich angesetzt hat. Ihre Oberfläche muß daher mit vortretenden Halmen oder Reisern versehen werden, welche den hindurchstreichenden Wind mäßigen und dadurch das Verfallenden des mitgeführten Sandes veranlassen. Dieses thun durch Büschel, die man in den Sand einsteckt, wie man dieses in den Dünen in Holland vielfach sieht. Sobald solche aber verfallen sind, so versagen sie ihren ferneren Dienst, und wenn man auch später den Sand auffangen will, so muß man die Fläche wieder neu bestecken. Das Dünengras und zwar vorzugsweise der Weizenhafer erfüllt diesen Zweck aber dauernd, und wenn er erst einmal und beinahe ganz verdeckt ist, so wächst er im nächsten Jahre von selbst wieder empor, so daß später neue Sandmassen abgefangen und fest abgelagert werden können. Dieses Dünengras ist vorzugsweise zur Bepflanzung der Vordüne geeignet, und habe ich es immer am vortheilhaftesten gefunden, es in Reihen zu pflanzen. Eine Reihe muß jedenfalls in die tiefere Rinne zwischen den beiden Zäunen gestellt werden, zwei oder drei andere in die auf die äußere Dossirung. Eine letzte auf die innere oder auf die ge Dossirung zu stellen, ist entbehrlich, da der hieher fließende Sand schon von den vorhergehenden Reihen hinreichend gewahrt wird. Diese Reihen sind 4 bis 5 Fuß von einander entfernt und verlaufen sämmtlich in der Richtung der Vordüne. Wenn daher der Wind in derselben Richtung steht, so würden leicht tiefere Rinnen zwischen ihnen ausgeweht werden. Um dieses zu verhindern, sind noch Querreihen dazwischen gezogen, die sich gegenseitig unterstützen und pflegen, wenn sie 8 Fuß von einander entfernt sind. Sollten einzelne Felder besonders tief ausgeweht werden, kann man sie durch Büschelpflanzung leicht wieder erhöhen. Im Dünenbau ist es niemals die Aufgabe, solche Anordnungen zu treffen, daß man vor jeder möglichen Beschädigung vollgesichert ist. Wenn man auch im Stande sein sollte, dieses zu erreichen, so würden die Kosten zu einer übermäßigen Höhe anwachsen. Man gelangt viel leichter zu dem beabsichtigten Ziele, wenn man die Mittel nur so bemißt, daß sie für gewöhnliche Fälle genügen, und Nacharbeiten und Ausbesserungen in Aussicht genommen werden.

Bei den Reihenspflanzungen stellt man die einzelnen Wurzeln oder Setzlinge $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll aus einander, man braucht daher für die Ruthe $1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Schock, oder eben so viele Bunde, da 60 Stück zusammen gebunden werden. Das Pflanzen geschieht in Gräben, die nach der Schnur gezogen und etwa 1 Fuß tief sind. Auf höheren und sehr trockenen Dünen müssen die Gräben tiefer sein, weil die Pflanzen sonst nicht anwachsen, auf der noch niedrigen Vordüne ist dieses jedoch nicht erforderlich. Ich habe die Gräser niemals ausgraben, sondern immer nur ausziehen lassen, weil Letzteres viel wohlfeiler war. Dieses ist freilich dem Ungeübten nicht leicht, weil er meist die Wurzel in einer zu grossen Höhe abreißt. Die Arbeiter gewöhnen sich indessen bald daran, die Pflanze richtig zu fassen und sie lothrecht in kräftigem Zuge zu heben, wobei der tiefer befindliche Theil der Wurzel, der bereits weniger fest ist, abreißt und alsdann noch zwei Wurzelknoten an dem Setzlinge bleiben. Jedenfalls ist es aber nothwendig, die Stellen, wo die Gräser gezogen werden sollen, sorgfältig auszusuchen. Wo die Pflanzen stark versandet sind, was besonders im Frühjahr der Fall zu sein pflegt, lassen sie sich nicht ziehen, auch darf man nicht solche Pflanzen wählen, die kein frisches Ansehn haben, und über welche schon lange kein Flugsand sich gelagert hat. Auf den unregelmässig geformten Dünen pflegt man immer einzelne Stellen zu finden, wo das Gras die nöthigen Eigenschaften hat. Man ist dabei auch nicht zu streng an die Jahreszeit gebunden. Am besten gedeihen wohl die Pflanzungen, die im Spätherbste ausgeführt werden, weil der Sand neben ihnen alsdann feucht bleibt, also das Treiben neuer Wurzelfasern begünstigt, auch werden sie durch den Sand, den sie sogleich auffangen, noch mehr gegen das Austrocknen geschützt. Auch das erste Frühjahr ist sehr geeignet, ich habe aber zuweilen bis in den Sommer pflanzen lassen, und die Gräser wuchsen jedesmal an, wenn nicht etwa unmittelbar darauf anhaltende starke Hitze folgte*).

Es ist schon mitgetheilt, daß die Zäunungen nicht immer ununterbrochen fortgeführt werden konnten, sondern daß sie sich zu-

*) Sehr ausführliche Mittheilungen über die Auswahl und Behandlung der Dünengräser, so wie auch die betreffenden Veranschlagungssätze findet man in Dünenbau von Krause. Berlin 1850.

wären an vortretende Dünenköpfe anschlossen. An diesen Stellen trafen sich jedesmal sehr bald starke Verwehungen und Einrisse in den alten unbefestigten Dünen. Letztere durften daher in der Richtung der Vordüne nicht bleiben, wenn die möglichste Gleichmäßigkeit und Regelmäßigkeit in dieser erreicht werden sollte. Deshalb wurden alle Kuppen, die vor oder in der neuen Vordüne lagen, in ihrer Oberfläche entblößt, indem die Gräser ausgerissen, und das Weidenstrauch, das sich darauf befand, so tief wie möglich abgeschnitten wurde. Wenn dieses im Herbste geschehn war, so pflügten die Stürme während des Winters schon vollständig die Kuppen zu beseitigen, die in dieser Weise jedes Schutzes entbehrten. Aber auch in anderer Jahreszeit traten oft die Zerstörungen sehr bald ein.

Noch ein anderes Verfahren habe ich mehrfach angewendet, um möglichst schnell denselben Zweck zu erreichen. Wenn nämlich ein starker Wind eintrat, stellte ich Arbeiter an diejenige Seite der Kuppe, die besonders heftig getroffen wurde, und wo eine recht kräftige Luftströmung vorbeizog. Hier wurde der Fuß der Böschung abgegraben und jeder Spatenstich Sand hoch aufgeworfen. Die Masse zertheilte sich alsdann sogleich und folgte dem Winde ins Binnenland. Der obere Theil der Dossirung stürzte nach und wurde gleichfalls vom Winde erfaßt und fortgetrieben. So war es möglich, an einem Tage eine hohe Kuppe zu beseitigen, und man konnte den hier gelösten Sand, der den tieferen Einrissen zwischen den Dünen folgte, noch vortheilhaft zur Ausfüllung derselben benutzen, wenn daselbst leichte Strauchzäune errichtet waren.

Es darf kaum bemerkt werden, daß dieses letzte Verfahren keineswegs zur Ausbildung einer regelmäßigen Vordüne führte. Der Sand wurde gemeinhin bis unter die Krone der letzteren ausgerissen, doch war es leicht, durch Zäune von angemessener Höhe die Ausgleichung wieder herzustellen. Durch unmittelbares Aufkarren von Sand oder Abgraben desselben wurde die Vordüne niemals gebildet. Diese Arbeiten waren ganz entbehrlich, weil der Wind sie schon verrichtete. Wo der Sand noch zu hoch lagerte, durfte er nur entblößt werden, alsdann trieb der Wind ihn fort, und wo eine zu tiefe Senkung entstanden war, veranlaßten Zäune die beabsichtigte Erhöhung. Die isolirten Kuppen aber, die vor der Vordüne auf dem Strande blieben, wurden in gleicher Weise beseitigt.

Bisher ist nur das Verfahren bei der ersten Anlage der Vordüne beschrieben, aber bereits angedeutet worden, daß dieselbe sehr sorgfältiger Unterhaltung und periodisch auch einiger Nacharbeiten bedarf. Es kann nicht fehlen, daß in den Reihen der Gräser manche Lücke entsteht, indem einzelne Pflanzen weniger kräftig anwachsen, auch absterben. Hier streicht der Wind stärker hindurch, als an andern Stellen, er verhindert also daselbst nicht nur das Ablagern des Sandes, sondern bildet sogar eine tiefere Rinne, die um so bedenklicher wird, wenn mehrere solcher zufälligen Lücken hinter einander liegen. Indem solche Rinne sich immer weiter ausbildet, so kann sie schliesslich einen Durchbruch der ganzen Düne veranlassen, was jedenfalls verhindert werden muß. Die Unregelmässigkeit ist im ersten Entstehen leicht zu beseitigen, aber dazu gehört eine ununterbrochene Aufmerksamkeit, und unmöglich kann man grösseren Beschädigungen begegnen, wenn nur ein- oder zweimal im Jahre die Dünen inspicirt und alsdann die nöthigen Reparaturen veranschlagt werden. Bei solchem Verfahren steigern sich die Kosten der Instandhaltung leicht auf das Vielfache, und dazu kommt noch der Schaden, den nach dem Verschwinden der Vordüne der landeinwärts treibende Sand veranlaßt. Es muß daher jedenfalls für dauernde Beaufsichtigung gesorgt, und zugleich muß der Aufseher verpflichtet sein, kleine Ausbesserungen sogleich selbst vorzunehmen. Wenn er in dem erwähnten Falle eine Rinne bemerkt, die etwa 1 Fuß tief und 5 Fuß breit geworden ist, die also gewiß schon bedenklich ist, so muß er vom nächsten Gebüsche Zweige schneiden und aus denselben einige Querzäune bilden, welche die Rinne schliessen. Eben so muß er auch verpflichtet sein, die Reihen der Dünengräser, wo es nöthig ist, durch Nachpflanzung zu ergänzen, oder durch Büschel die besonders tief ausgewehten Felder zu sichern.

Damit dieser Dienst gehörig versehn werden kann, darf man dem Wärter keine zu große Strecke zuweisen. Er wird gewöhnlich verpflichtet, alle zwei oder äußersten Falles alle drei Tage jeden Theil der ihm anvertrauten Düne zu begehen, und hieraus ergibt sich, daß letztere nicht länger als 3 oder höchstens 4 Meilen sein darf. Wenn derselbe Wärter auch zugleich die Aufsicht über die Culturen der Binnendünen führt, so läßt sich dieses mit dem in Rede stehenden Dienste sehr gut verbinden, indem er bei seinen

gungen einmal den Weg am Strande und einmal durch das Land macht. Er muß auch zugleich darauf halten, daß die Wege nicht unbefugter Weise betreten werden und namentlich daß man nicht auf dieselben kommt.

Es läßt sich nicht vermeiden, daß hin und wieder und namentlich in der Nähe von Dörfern oder einzelnen Wohnungen über die Wege gegangen und gefahren wird. Dieses darf indessen nicht häufig geschehn, vielmehr nur an bestimmten Stellen, und es ist am besten, solche Wege an beiden Seiten mit leichten Hecken zu versehen, weil sonst sowol die Fußgänger, wie auch die Pferde jedesmal diejenigen Stellen wählen, welche am meisten Dünengras bewachsen, also am festesten sind, die aber, wenn sie betreten werden, sich bald gleichfalls in kahle Sandflächen verwandeln. Bei frequenter Passage, also namentlich neben Badeorten, legt man die Fußwege auch zu befestigen, indem Laufsteine darüber gelegt werden. Wenn Thonboden mit mäßigen Kosschafften ist, so kann eine dünne Lage desselben von etwa 2 Zoll Dicke die Fußpfade schon wesentlich verbessern, und sobald dieser Boden vorhanden ist, darf man nicht besorgen, daß die Wege darüber leicht ausweichen werden. Man erreicht dadurch den größten Gewinn, daß nicht nur die Graspflanzungen zur Seite der Wege liegen bleiben, sondern auch die Wege selbst gegen das Ausweichen gesichert sind.

Fahrwege verwandeln sich gewöhnlich in tiefe Rinnen, in welche sich vollständiger sich ausbilden, also auch um so nachtheiliger, je weniger der hindurchziehende Luftstrom durch dahindurchgehende höhere Dünen unterbrochen wird. Beim Abstecken der Fahrwege muß man also darauf Rücksicht nehmen, sie so zu legen, daß der Wind nicht mit zu großer Heftigkeit hindurchstreichen kann, sondern daß ihre Richtung nicht mit derjenigen der herrschendsten Winde übereinstimmen. Nichts desto weniger läßt sich doch meist nicht vermeiden, daß die Fahrwege sich mit der Zeit in tiefe Einschnitte verwandeln, welche die Gleichmäßigkeit der Vordüne in sehr nachtheiliger Weise unterbrechen und welche große Sandmassen in das Binnenland treiben. Geht man davon aus, so bleibt nichts übrig, als die alten Wege durch Querschleifen zu schließen, also die Vertiefung wieder durch Sandablagerungen zu füllen und demnächst mit neuen Gräsern zu bepflanzen,

während inzwischen an einer andern geeigneten Stelle in der Nähe ein neuer Weg über die Vordüne eröffnet wird.

Bei Beschreibung der Ausführungen behufs der Bildung und Unterhaltung der Vordüne ist allein von der Anpflanzung des gewöhnlichen Dünengrases oder Sandhafers (*arundo arenaria*) die Rede gewesen, der in der That in den meisten Fällen auch allein hierzu geeignet ist. Nur wenn der Fuß der Vordüne stark angegriffen wird und der Strand davor besonders niedrig liegt, so ist es zweckmäßig, hier den Strandweizen (*elymus arenarius*) zu wählen, weil derselbe beim Wellenschlage weniger leidet, und in kurzer Zeit den Boden dicht überzieht, also die Sandablagerung sicherer schützt.

In früherer Zeit hat man auch häufig Weidenstrauch angepflanzt, das unstreitig, wenn es einem starken Sandfluge ausgesetzt ist, viel kräftiger und schneller anwächst, als das Dünengras. Dabei sind indessen sehr große Unregelmäßigkeiten ganz unvermeidlich, also der Hauptzweck, nämlich eine gleichmäßig benarbte Vordüne von gleicher Höhe und Breite darzustellen, die an keiner Stelle vom Winde angegriffen werden kann, wird dabei vollständig verfehlt. Statt derselben bildet man in diesem Falle wieder einzelne kühle Dünenkuppen, die schneller, als sie entstanden sind, wieder verweht werden, also immer aufs Neue große Sandmassen ins Binnenland treiben. Aus diesem Grunde habe ich nicht nur das Anpflanzen von Weiden auf den Vordünen ganz unterlassen, sondern wo sich diese darauf zeigten, was theils durch das Verwehen des Samens, theils aber auch zuweilen durch die Zäunungen geschah, indem einzelne Reiser Zweige und Wurzeln trieben, so wurden die neuen Triebe derselben, so oft sie den Sand durchbrachen, immer möglichst tief abgeschnitten oder ausgerissen, und hiedurch gelang es bald, sie vollständig zu beseitigen. Eben so wenig wurden aber auch andere Sträucher auf der Vordüne geduldet, vielmehr durfte diese nur mit Dünengras bestanden sein, damit sich überall dasselbe Profil darstellte und zur Aufnahme neuer Sandmassen immer geeignet blieb.

Schließlich ist noch ein Umstand zu erwähnen, von dem die dauernde Erhaltung der Vordüne wesentlich abhängt. Wenn die bezeichneten Arbeiten bei der ersten Anlage, so wie auch bei der Unterhaltung, also bei Beseitigung der eingetretenen Beschädigungen, in angemessener Weise ausgeführt werden, so wächst das

engras nicht nur von Jahr zu Jahr höher an, indem immer Sandmassen sich regelmässig darüber legen, sondern ausserbreitet jede Pflanze sich in geringem Maasse auch seitwärts und man kann oft nach etwa fünf Jahren die ursprünglichen nicht mehr erkennen, indem die Felder vollständig durch Seitentriebe gefüllt sind. Diese Sandablagerung erhebt sich im Laufe der Zeit weit über den Strand, der ihr nicht folgen kann, sie bildet zuletzt eine merkliche Stufe gegen denselben, wodurch wieder Erscheinungen veranlaßt werden, wie vor höheren Dünen. Der hintere Theil des Strandes wird alsdann ausgeweht dadurch der Fuß der Vordüne dem Angriffe des Windes, wo er gar des Wellenschlages ausgesetzt. Ein solcher bedenklicher Zustand, der ohnfehlbar die endliche Zerstörung der ganzen Vordüne zur Folge haben würde, darf nicht unbeachtet bleiben. Man begegnet demselben sehr sicher, wenn man, sobald die Abstufung sich bemerkbar macht, sogleich eine neue Reihe Dünengräser davor anpflanzt. In dieser Weise kann man die sanfte seeseitige Dossirung des Strandes erhalten, und zugleich die Vordüne in den Stand setzen, daß sie die neu antreibenden Sandmassen stets in sich aufnimmt. Sie gewinnt dadurch nach und nach an Breite, wie ihre Höhe zunimmt, und wird bei solchem Verfahren in jeder Beziehung gesichert. An jenen Uferstrecken, wo der Sand nur in geringem Maasse ausgeworfen wird, ist diese Verbreitung weniger nöthig, aber hier wird doch aus demselben Grunde die Düne sich weniger schnell erhöhen, also jener stufenförmige Absatz sich viel später zeigen, als an anderen Stellen, wo die See grössere Massen Sand herbeiführt. Das Eintreten der Gefahr giebt sich also jederzeit sehr sicher und den örtlichen Verhältnissen entsprechend zu erkennen. Es geschieht allerdings, daß man diese Anzeichen ganz unbeachtet läßt, indem man nach der ersten Ausbildung der Vordüne seine Aufmerksamkeit allein auf die Cultur der Binnendünen verwendet. Letztere werden aber aufs Aeufserste bedroht und wieder neuen Zerstörungen preis gegeben, wenn die Vordüne einst durchbricht und der Sandgolf nach dem Binnenlande sich wieder einstellt.

Wenn dagegen die Vordüne, so oft es nöthig ist, seewärts verlegt wird, und der Strand in Folge der natürlichen Einwirkung des Windes in gleichem Maasse vorrückt und sich erhöht, so hört augenscheinlich jeder Abbruch des Ufers auf, dasselbe gewinnt an

Ausdehnung und die sehr grossen Sandmassen, aus welchen es sich zusammensetzt, werden in dieser Weise zurückgehalten, so daß sie weder in das Binnenland treiben, noch auch durch die Küstenströmung weiter geführt werden, und daher die Verflachung von Hafenmündungen nicht veranlassen können. Die Anlagen dieser Art sind also, wenn man auch von dem Uferschutze ganz absieht, von der äußersten Bedeutung. Die Cultur der innern Dünen wird wesentlich erleichtert, wenn das Hinzutreten neuer Sandmassen aus der See oder von den abbrechenden Ufern aufhört. Die Erfahrung zeigt sogar, wie oben mitgetheilt, daß in solchem Falle die Dünen sich von selbst mit Vegetation überziehn und ausgedehnte Kiefern-Waldungen auf ihnen emporwachsen. Andre Erfahrungen zeigen ferner, daß gerade diejenigen Hafenmündungen am stärksten versanden, in deren Umgebungen die Dünen nicht geschützt werden, also dauernd abbrechen.

Die Vortheile, welche hiernach durch die Ausbildung und Unterhaltung regelmässiger Vordünen erreicht werden, sind in den verschiedensten Beziehungen von der äußersten Bedeutung, und sie lassen sich meist durch die einfachsten Mittel und mit sehr geringen Kosten herbeiführen. Dieser Gegenstand ist indessen bisher nur an wenigen Punkten unserer Küste beachtet worden und es war daher nothwendig, durch ausführliche Beschreibung des Verfahrens und durch Hinweisung auf die außerordentlichen Erfolge, die sich in kürzester Zeit zu zeigen pflegen, die Aufmerksamkeit darauf zu lenken. Es muß aber noch hinzugefügt werden, daß auch an der Pommerschen Küste, so oft in geraden Uferstrecken Zäunungen versucht worden sind, dieselben eben so, wie an der Frischen Nehrung gewirkt, und große Sandmassen aufgefangen haben. Dem Hafenbaumeister eröffnet sich hierin nicht nur ein erfolgreiches, sondern wegen der überraschenden Resultate, zu denen er in der kürzesten Zeit gelangt, auch ein höchst interessantes Feld seiner Thätigkeit, und gewiß wird er, sobald er die ersten Versuche gemacht hat, gerade diese Arbeiten mit ganz besonderer Vorliebe verfolgen.

§ 27.

Dünen-Cultur.

bald die Vordüne sich gebildet und mit Strandgräsern bedeckt wird der von der See aufgeworfene Sand durch sie aufgeschüttet und das dahinter gelegene Dünenterrain ist alsdann gegen Zutreten neuer Sandmassen gesichert. Die hier befindlichen kahlen und zum Theil ganz kahlen Sandschellen und Kuppen sind durch ein Spiel des Windes und der von denselben sich lösenden Sandkörner auch den dahinter liegenden Culturen sehr nachtheilig, aber ihre Befestigung und Bepflanzung wird nunmehr, wenn neuer Sand hinzukommt, um Vieles leichter, als sie früher war. Man bemerkt sogar, daß an denjenigen Stellen, wo der See nach und nach durch neue Ablagerungen weiter vorgerückt ist, die See sich von den alten Dünen entfernte, beinahe je nachdem ein dichter Kiefernwald die Düne bedeckt, wenn sie auch bedeutender Höhe sich erhebt. Solche Waldungen, wie die Caseburger Forst ohnfern Swinemünde, bestehn aber schon Jahrhunderten, und man muß daher annehmen, daß sie ganz erst entstanden sind. Die vielfachen Baumstämme, die man an andern Dünen häufig findet, deuten an, daß auch diese einst nicht so kahl waren, als sie jetzt sind, und es giebt auch historische Ueberlieferungen von vielfachen Zerstörungen solcher Waldungen. Vor zwei Jahrhunderten war der nördliche Theil der Frischen Nehrung bis zur Spitze derselben noch mit Kiefern bestanden und in gleicher Weise erstreckten sich die Waldungen von Pillau nordwärts bis Lochstädt, woher die perspectivisch gezeichneten Karten aus der ersten Hälfte des siebenzehnten Jahrhunderts das bedeutende Dorf (Alt-) Pillau, das damals rings um die bestehende Kirche sich ausbreitete, von Waldungen umgeben zu sehn und Gärten, Wiesen und Felder an den Stellen zeigen, die jetzt wenigen Jahrzehenden und zum Theil auch jetzt noch nur Sandschellen liegen. Dieses günstige Verhältniß wurde dadurch aufgehoben, daß der Commandant der kleinen Festung Pillau, um sich nicht vor einem plötzlichen Ueberfalle im Jahre 1677 sowohl auf der Nehrung, wie auf der Nordseite von Pillau auf meilenweite Strecken alles Holz niederschlagen ließ. Die weiter südwärts

belegenen Waldungen auf der Frischen Nehrung wurden aber vorzugsweise durch die Russen und Schweden im Anfange des vorigen Jahrhunderts verwüstet, indem sie hier Theerschwelereien einrichteten.

Wenn es hiernach keinem Zweifel unterliegt, daß der aus reinem Seesande bestehende Boden in früherer Zeit sich von selbst mit Kiefern-Waldungen überzogen hat, so ist gewiß zu erwarten, daß man durch künstliche Nachhülfe auch heutiges Tages dasselbe Resultat leicht erreichen kann. In gewisser Beziehung treten die Ansiedlungen und die Bodencultur in Folge der öconomischen Verhältnisse allerdings der Ausbreitung der Waldungen entgegen. Durch Umgraben und Pflügen der Flächen, die sich im Laufe der Zeit mit einer dünnen Lage Waldboden überdeckt haben, kann leicht der letztere wieder fortgetrieben werden, so daß der Sand zum Vorschein kommt. Vor Allem sind aber die Viehweiden unter diesen Umständen im höchsten Grade verderblich, da durch sie theils der Boden fortwährend wund getreten, theils aber auch jede Vegetation, die sich darauf zeigt, sowol Gräser, als junge Sträucher und Bäume, zerstört wird. Die Spärlichkeit der Vegetation veranlaßt das Vieh, weit umher zu streifen, und Alles zu fressen und zu benagen, wovon es sich irgend ernähren kann. Andererseits giebt diese Viehweide auch den einzigen Ertrag solches verwahrlosten Dünen-Terrains und die Grundbesitzer, denen die Mittel fehlen, dasselbe in andrer Weise nutzbar zu machen, nehmen den geringen Vortheil wahr, den sie hierbei haben können. Als mir im Jahre 1826 die Dünenbauten auf dem nördlichen Theile der Frischen Nehrung übertragen wurden, fand ich daselbst ganze Heerden von jungem Hornvieh, das ohne Aufsicht weidete. Dieses gehörte aber nicht den wenigen Bewohnern auf diesem Theile der Nehrung, vielmehr wurde es von den am Haff belegenen Ortschaften im Frühjahr herübergebracht und im Spätherbste wieder eingefangen und zurückgeführt. Der nächste Schritt mußte also dahin gerichtet sein, diesen Unfug, zu dem auf fiscalischem Terrain niemand berechtigt war, abzustellen. Das Einpfänden des Viehes war leicht, aber die Ermittlung der Eigenthümer sehr schwierig, woher es nur langsam glückte, alles fremde Vieh zu entfernen, und die wenigen Stücke, die den dortigen Bewohnern gehörten und zu deren Haltung sie berechtigt wa-

man, auf bestimmte Weideplätze zu beschränken. Der Erfolg dieser Änderung war aber sogleich sehr augenfällig, indem die Vegetation sich schnell über alle Niederungen ausdehnte.

Die Festlegung der Sandflächen auf den Binnendünen und die Bepflanzung derselben mit Kiefern und andern Holzarten gehört nicht zum Wasserbau, sondern zur Forstwirthschaft. Es ist daher keineswegs Absicht, hier speciell darauf einzugehn, vielmehr sollen nur einzelne Punkte berührt werden, die bei der Eigenthümlichkeit der Seedünen vorzugsweise zu beachten sind. Dieser Gegenstand ist bereits vielfach ausführlich behandelt. Die oben erwähnte Abhandlung von Bremontier bezieht sich beinahe ausschließlich hierauf und auch bei uns sind eine Anzahl von Druckschriften über die Cultur der Seedünen erschienen. Namentlich die Sicherung des Danziger Stadtwaldes hat zur Publication mehrerer wichtigen Schriften Veranlassung gegeben.

Auf der Frischen Nehrung hatten sich von dem Punkte aus, wo gegenwärtig die Weichsel ausmündet, bei Neufähr, bis gegen Kahlberg hin, also etwa auf 6 Meilen Länge, theils einzelne und theils zusammenhängende weit gestreckte wandernde Dünen gebildet, welche die dahinter belegenen fruchtbaren Niederungen langsam verschütteten, oder durch Flugsand verwüsteten. Vorzugsweise traten diese Dünen in den zur Stadt Danzig gehörigen Kiefernwald, der sich auf 4 Meilen Länge ausdehnte, und den sie bei ihrem Vorrücken von Jahr zu Jahr immer weiter begruben. Um ihrem ferneren Vordringen Einhalt zu thun, wufste man bis gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts kein anderes Mittel, als daß man auf dem Kamm der Düne aus Fichtenreisern Zäunungen ausführte, die den von der flachen seeseitigen Dossirung gelösten und heraufstreibenden Sand auffangen und dadurch das weitere Vortreten der steilen landseitigen Dossirung verhindern sollten. Dieser Zweck wurde aber keineswegs erreicht, denn wenn auch große Sandmassen vor den Zäunen sich ablagerten, und deshalb in jedem Jahre auf die älteren immer neue Zäune gestellt werden mußten, so trieb dennoch sehr viel Sand darüber fort und das Uebel wurde keineswegs ganz beseitigt, vielmehr nur vorübergehend etwas vermindert. Höchst bedenklich war dabei der Umstand, daß der Kamm der Düne sich immer mehr erhöhte, also die Gefahr eines Durchbruches immer

größer wurde. Wenn endlich ein solcher erfolgte, so waren die Zerstörungen übermächtig und keineswegs geringer, als wenn man die Düne ganz sich selbst überlassen hätte.

1768 stellte die naturforschende Gesellschaft in Danzig die Preisfrage, in welcher Weise den Versandungen der Nehrung begegnet werden könne. Dem Professor Titius in Wittenberg, der sich früher in Danzig aufgehalten hatte, und mit den dortigen Verhältnissen bekannt war, wurde der Preis zuerkannt. Derselbe sagt in der betreffenden Abhandlung*), der Sand komme aus der Ostsee, wovon man sich durch die Wahrnehmung leicht überzeugen könne, daß die Körnchen immer um so feiner werden, je weiter sie von dem Strande sich entfernt haben. Er empfiehlt daher, dasjenige Terrain, welches man mit Bäumen oder Sträuchern bepflanzen will, zunächst auf der Seeseite durch Zäunungen zu schützen, gegen welche der Sand sich ablagern kann. Die Pflanzung müsse aber hoch aufwachsen, damit sie auch den Sandflug verhindere, der für die dahinter belegenen Flächen schädlich ist. Wenn man mit Kiefern gleich den Anfang mache, so wachsen diese nicht gehörig an, sie bleiben vielmehr nur niedrig und es vergehn viele Jahre, bevor sie auch nur eine mäßige Höhe erreichen. Ganz anders verhalte es sich mit den Acacien, die im reinen Sande gut gedeihen und sehr schnell emporwachsen. Demnächst werden auch auf den weniger geschützten Sandschellen Anpflanzungen von Dünengräsern empfohlen, aber die Anlage von Kiefernsonnungen als der letzte Zweck der Culturen nur für spätere Zeit in Aussicht gestellt.

Wie richtig diese Andeutungen auch waren, so fanden sie doch, wie es scheint, keine weitere Berücksichtigung und wurden vielleicht ganz vergessen, bis im Jahre 1793, als Danzig Preussisch wurde, die Festlegung der Dünen wieder zur Sprache kam. Man überzeugte sich, daß nicht nur der Stadtwald von Jahr zu Jahr immer weiter verwüstet, sondern auch der ganze Handel von Danzig sehr ernstlich bedroht wurde, indem die wandernden Dünen stellenweise die Weichsel erreicht hatten und sich in diese zu stürzen drohten,

*) Herrn J. D. Titius Abhandlung über die von der naturforschenden Gesellschaft in Danzig aufgegebenen Frage: Welches die dienlichsten und am wenigsten kostbaren Mittel sind, der überhandnehmenden Versandung in der Danziger Nehrung vorzubeugen und dem weitem Anwuchs der Sanddünen abzuhalten. Leipzig 1768.

durch eine sehr nachtheilige Versandung und vielleicht eine vollständige Sperrung des Fahrwassers im Strome veranlaßt werden etc.

Ein Bürger von Danzig, Namens Sören Biörn, von Geburt ein ~~e~~, machte wiederholentlich geltend, daß man in seinem Vaterlande große Sandflächen durch Bepflanzung mit Strandgräsern feststellen habe. Er empfahl daher dieses Mittel, sowie auch die Anpflanzung von Weiden und andern Holzarten. Im Jahre 1795 wurde die Befestigung der 500 Ruthen langen Düne übertragen, welche die Fischerei in der Nähe von Neufähr besonders bedrohte. In den folgenden Jahren führte er diese Arbeiten zur allgemeinen Kenntniss aus, worauf er als Plantagen-Inspector angestellt wurde und bis zu seinem Tode im Jahre 1819 die Dünenbauten auf der Ostseite der Nehrung leitete.

Seine Thätigkeit beschränkte sich aber nicht nur auf den Theil der Nehrung, auf welchem der Danziger Stadtwald liegt, sondern er wurde Biörn in den Jahren 1799 bis 1802 vielfach zu Berathungen und zur Abgabe von Gutachten in Betreff der Behandlung der weiter nordwärts belegenen Dünen auf der Frischen und Alten Nehrung und bei Lochstädt von der damaligen Kammer des Königs aufgefodert. Diese Gutachten sind zum Theil viel besser, als die von ihm veröffentlichte Beschreibung seines Verfahrens.

Aus jenen ergibt sich, daß er fortwährend auf die Anpflanzung von Zäunungen drang, um den von der See aufgeworfenen Sand aufzufangen. Er erwähnt dabei des großen Nutzens, den die Dünen davon haben würden, indem sie alsdann weniger den Verrufen ausgesetzt wären. Alle diese Zäune müßten aber nur 10 Fuß und nicht über 1½ Fuß hoch sein. Man solle sie aus einem Strauche darstellen und sich besonders hüten, daß sie nicht zu dicht würden, weil sie sonst ihren Zweck verfehlten, auch beim Sturme beschädigt werden könnten. Dagegen möchte man mehrere solcher Zäune hinter einander stellen. Selbst vor den Dünen bei Lochstädt empfahl er Zäunungen auf dem Strande. Wenn dieselben versandet wären und eine flache Böschung sich gebildet hätte, sollten sie mit den Strandgräsern, die er Klit genannt, bepflanzt werden, weil dieses die einzige Pflanze sei, die den Wellenschlag ertragen könne. Zur Cultur der Sandschellen empfahl er vorzugsweise die Kiefer und Eller, auch Birken, Pap-

peln, Espen und selbst Hainbuche (*Corpinus betulus*) habe er in gutem Wachstume zwischen den Dünen gesehn, die Acacie, meint er aber, verschwinde bald, wenn sie Anfangs auch zu gedeihen scheint. Er sprach sich aber stets dahin aus, man solle Anfangs nicht auf hochstämmige Bäume, sondern vielmehr auf dichtes Gebüsch Rücksicht nehmen.

In der bereits erwähnten Abhandlung*), die durch einen Situationsplan erläutert wird, beschreibt er sein Verfahren bei Befestigung der seeseitigen Dossirungen der wandernden Dünen. Hieraus ergibt sich, daß er am obern Rande dieser Dossirung, also auf der Krone der Düne einen Dielenzaun errichtete, der jedoch mit 1 Zoll weit geöffneten Fugen versehen war. Die Zaunpfähle sind, wie er sagt, 8 Fuß lang und werden in Entfernungen von 15 Fuß eingegraben. Daran werden drei bis fünf Stück sogenannte Schwarten, oder die äußeren Dielen, die aus runden Sägeblöcken geschnitten sind, mit hölzernen Nägeln befestigt. Dieser Zaun dient theils zum Auffangen des dagegen treibenden Sandes, und theils zum Abhalten des Viehes. Wenn er beinahe ganz verweht ist, so wird er gehoben, und zu diesem Zwecke sind die Pfähle ohnfern ihrer Köpfe mit weiten Kerben versehen, in welche die Wuchtbäume eingreifen. Drei Mann heben solchen Zaun mit Leichtigkeit aus dem Sande und zwar ohne daß die Dielen sich lösen oder zerbrechen, da diese auf große Länge frei liegen, also sehr biegsam sind.

Die ganze zu befestigende Fläche wird demnächst zu beiden Seiten, so wie auch neben den unregelmäßigen Vordünen mit einem Strauchzaune eingeschlossen. Nach der beigefügten Figur verfolgt derselbe so vollständig den Fuß der Dünenhügel neben dem Strande, daß er an einer Stelle sogar mit einer scharfen Ecke bis an den letzteren herantritt. Dieser Zaun dient wieder theils zum Abhalten des Viehes, und theils zum Auffangen des von der einen oder der andern Seite anwehenden Sandes. Von der Darstellung einer regelmäßigen und ununterbrochenen Vordüne ist in dieser Beschreibung nicht die Rede, Biörn stellte sich vielmehr dabei nur die Aufgabe, die sanft geneigte kahle Sandfläche, die vom

*) „Ueber die beste Art, der allmählichen Versandung der Nehrung durch Dünenbau und Bepflanzung möglichst vorzubeugen,“ in der Sammlung nützlicher Aufsätze und Nachrichten die Baukunst betreffend. 1798. II. Seite 81 ff.

Vordüne bis zum Kamme der Hauptdüne ansteigt, zu und zwar in derjenigen Umgrenzung, die sie zufällig beim Arbeiten hatte.

Zur Befestigung werden sehr verschiedene Mittel angewendet. Ein besonderes Gewicht wird in jener Beschreibung auf den Sturmzaun gelegt, der nach der Zeichnung parallel dem Dielenzaune etwa 25 Ruthen von demselben entfernt ist. Zaunpfähle werden drei aus Schwartdielen gespaltene, und Erlenstrauch von 8 bis 9 Fuß Länge mit den Pfählen daneben eingegraben und zwischen den Latten hintereinander, jedoch in der Art, daß keineswegs eine dichte Wand entsteht, vielmehr der Sand noch durchtreiben kann. Diese Sturmwälle treiben den antreibenden Sand gleichmäßig über die ganze Fläche, und es wird gerühmt, daß der Sand durch sie, wie ein Sieb frei hindurchgeht, also keine neue Düne sich bildet. Die in der beigefügten Zeichnung zu beiden Seiten des Zaunes eingebrachten Schraffirungen lassen indessen vermuthen, daß er wirklich ein Sandrücken ablagerte.

Nächst sind Strauchzäune ausgeführt, die auch Fänge genannt werden und die etwa in 12 Ruthen Abstand von einander dem Gefälle der Fläche folgen und vom Kamme bis zur Vordüne führen. Sie lassen indessen neben dem Dielenzaune, so wie zu beiden Seiten des Sturmzaunes freie Gänge von 1 bis 2 Fuß breite. Endlich werden in den tieferen Stellen, die man nicht erreichen kann, noch kurze Strauchzäune angebracht, die sich kreuzschneiden, die also den von allen Seiten gegentreibenden Sand abfangen.

Was die Anpflanzungen betrifft, so werden neben dem Dielenzaune zu beiden Seiten der Strauchzäune lebendige Hecken eingebracht. Die freien Räume zwischen den letztern aber mit Strandpflanzungen besetzt. In den tiefsten Theilen der eingeschlossenen Fläche, so in der Nähe der Vordünen, werden dagegen Gräser

eingesät. Da die Beschreibung und Zeichnung dieser Anlagen auch sehr deutlich und ganz klar ist, und der Verfasser, wie es scheint, die besten Methoden, die er vielleicht nur versuchsweise angewendet hat, hier zusammenstellte, so ergibt sich doch daraus, daß die allseitige Dossirung der Düne dadurch gewiß so festge-

legt wird, daß ihre Oberfläche nicht mehr ein Spiel des Windes bleibt, also das Vorschreiten der Düne dadurch wirklich verhindert wird. Ohne Zweifel wird hierdurch auch mit der Zeit eine feste Benarbung des Bodens herbeigeführt, die aber in Betreff des von der See her neu hinzutretenden Sandes doch immer bedroht bleibt, denn auf die gleichmäßige Verbreitung desselben über die ganze Fläche ist in sofern nicht zu rechnen, als die Weiden- und eben so auch die Graspflanzungen, welche von dem auftreibenden Sande zuerst getroffen werden, denselben sogleich auffangen, und indem sie kräftig hindurchwachsen, immer neue Ablagerungen, also nichts anderes, als neue Dünen bilden. Die dahinter belegenen Flächen behalten dagegen unverändert ihre frühere Höhe bei, und werden nur bei der spätern Zerstörung jener Hügel mit Sand beschüttet. Das von Biörn gewählte Verfahren stellt also mindestens eine sehr kostbare dauernde Unterhaltung in Aussicht, bis mit der Kiefern-Pflanzung vorgegangen werden kann. Es wäre aber noch zu erwähnen, daß die ganze Anordnung sehr unpassender Weise einer Garten-Anlage mit geschweiften Gängen, weiten Rasenplätzen und terrassenförmigen Ansteigungen nachgebildet zu sein scheint. Auch die Benennung Plantagen deutet darauf hin.

Die Ausführlichkeit vorstehender Beschreibung rechtfertigt sich dadurch, daß diese Anlagen die ersten Versuche eines methodischen Dünenbaues in Preussen waren. Die Principien, die ihnen zum Grunde lagen, werden aber von Vielen auch heutiges Tages noch als richtig angesehen.

Ob unmittelbar nach der beschriebenen Festlegung der Sandflächen auch die Bepflanzung derselben mit Kiefern versucht wurde, ist nicht bekannt, jedenfalls hat aber Sören Biörn sich um die Cultur der letzteren auf den Dünen verdient gemacht. Eine besondere kleine Schrift*) enthält hierüber, wie über die Erfolge der verschiedenen Verfahrensarten beim Pflanzen und Aussäen der Kiefern sehr interessante Mittheilungen.

Später wurden die Dünenbauten auf der Danziger Nehrung durch Krause fortgesetzt, der wie es scheint, nach und nach die Methoden der Ausführung veränderte. Einige Jahre vor seinem Tode

*) Ueber die vortheilhafteste Behandlungs-Methode bei Besamung und Bepflanzung der Kiefern, von Sören Biörn. Danzig 1807.

Die selben sehr ausführlich beschrieben. Sein Buch*) behandelt nicht nur die Festlegung der wandernden Dünen, sondern auch den Dünenbau und ist vorzugsweise in Betreff der Forstung auf solchem Terrain von grosser Wichtigkeit. Die Resultate, die er erreichte, verdienen ohne Zweifel die vollste Anerkennung. Denn jene wandernden Dünen haben, soweit sie früher Beunruhigung erregten, ihren gefährlichen Character verloren, indem sie, auch nicht mit Waldung oder festem Rasen überzogen, doch benutzbar sind, daß bei den heftigsten Stürmen nur unbedeutende Sandmassen davon gelöst, und auch diese auf der Düne selbst aufgefangen werden. Ein sehr grosser Theil des Dünenuntergrundes ist aber bepflanzt und in Kieferschonung verwandelt, und ist nicht nur auf den niedrigeren Flächen, sondern zum Theil auf bedeutenden Höhen geschehn.

Die Wichtigkeit der Vordünen wird von Krause anerkannt, derselbe spricht sich auch dahin aus, daß sie ohne Lücke den natürlichen Dünen begrenzen und mit Dünengras bepflanzt werden sollen. Ihre richtige Ausbildung berührt er aber nicht, und diese vermißt man in der That, wenn man den Strand bereist, neben dem jene Anlagen ausgeführt sind. Nach seinen Mittheilungen schliessen künstlichen Vordünen nur die Oeffnungen oder Intervalle zwischen den natürlichen Dünen, die sich nicht selten als steile Kuppen erheben, und daher, wenn sie auch bepflanzt sind, kaum als wirklich gesichert angesehen werden können. Ausserdem wird gesagt, daß die Vordüne sich über den Strand steil erheben solle. Ohne Zweifel hat ihre äussere Böschung jedesmal eine stärkere Neigung gegen den Horizont, als der Strand selbst, wenn man aber letzteren gehörig ausbilden und erstere gegen den Wellenschlag sichern will, so ist es nothwendig, daß ein steiles Ansteigen derselben vermieden werde.

Was die Befestigung der flachen Dossirung der wandernden Dünen der Hauptdüne betrifft, so sagt Krause, daß man dazu nur Pflanzungen von Strandhafer wählen solle. Ob dieses wirklich geschehn, ist wohl zu bezweifeln. Die ursprünglichen Pflanzungen sind nicht mehr zu erkennen. Man sieht indessen zwischen

*) Der Dünenbau auf den Ostsee-Küsten West-Preussens vom Dünenbau-Ingenieur G. C. H. Krause. Berlin 1850.

dem Dünengrase, das hier noch vielfach vegetirt, auch häufig Weidengebüsche. Der Sand wird gegenwärtig aber vorzugsweise durch Sandegge (*Carex arenaria*) gebunden, deren weit verzweigte Ranken die ganze Fläche überzogen haben.

Als ich vor dreissig Jahren diese Arbeiten und Pflanzungen auf den weit ausgedehnten flachen Dossirungen der höchsten Dünen sah, erweckten sie keineswegs die Hoffnung, daß die beabsichtigten Erfolge sich bald zeigen würden. Die grossen Flächen waren durch Reihen-Pflanzungen von Strandhafer in 4 bis 6 Fuss Entfernung, und zwar in zwei Richtungen, die sich rechtwinklig durchschnitten, überzogen, so daß sie wie mit einem grossen Netze überdeckt erschienen. Man hatte indessen dabei keineswegs nur Dünengras, sondern sehr häufig auch Weidenstecklinge gewählt, die also lebendige Hecken bilden sollten. Der Sand war allerdings genügend befestigt, so lange diese Pflanzungen gehörig unterhalten wurden, aber einen frischen Wachsthum bemerkte man nur neben solchen Stellen, wo jene Reihen zufällig durchbrochen waren, und der Sand, der sich dabei gelöst, das Gras oder das niedrige Strauch etwas beschüttet hatte. Die Weidenarten, die in solchem trockenen Sandboden fortkommen, und eben so auch der Sandhafer, wachsen, wie schon oben bemerkt, nur in dem Falle üppig, wenn immer frischer Sand hinzufliegt, der durch sie aufgefangen wird. Dieses geschah hier im Allgemeinen nicht und sollte auch nicht geschehn, woher diese Pflanzen nirgend einen frischen Wuchs zeigten, vielmehr langsam abzusterben schienen. Daß vielfache Nachpflanzungen in jener Zeit ausgeführt waren, liess sich leicht erkennen, und indem nur sehr selten eine naturwüchsige Vegetation dazwischen sich zeigte, vielmehr die einzelnen Felder mit wenigen Ausnahmen ganz kahl waren, so dürften wohl viele Jahre vergangen sein, ehe die grossen und kostbaren Nachbesserungen endlich sich verminderten. Die steifen, vom Winde eingeknickten Blätter des Sandhafers hatten überdies in den freien Feldern daneben überall die tiefen kreisförmigen Furchen im Sande gezogen, und dadurch gewiss noch mehr das Aufkommen einer natürlichen Vegetation verhindert.

Unter diesen Umständen rechtfertigt sich gewiss der Zweifel, ob es überhaupt zweckmässig ist, unter solchen Umständen, wo ein gedeihliches Aufkommen und die weitere Verbreitung der gesteckten Gräser und Reiser unmöglich ist, überhaupt eine Pflanzung zu

wählen. Die Erfahrung hat diesen Zweifel in sofern bestätigt, als die Fläche gegenwärtig keineswegs durch die vereinzelt noch vegetirenden Dünengräser, und eben so wenig durch das Weidengebüsch, das man hin und wieder sieht, vielmehr allein durch die Sandegge, die sich von selbst eingefunden hat, gehalten wird. Ausser ihr sieht man vielfach auch noch die oben erwähnten und andere Strandpflanzen, doch ist die Anzahl derselben vergleichungsweise so unbedeutend, daß sie in dieser Beziehung ohne Einfluß sind. Todte Zäunungen würden hiernach genau denselben, und wegen der nachtheiligen Wirkungen der langen Blätter des Dünengrases sogar noch bessere Resultate ergeben haben. Es fragt sich daher, ob Pflanzungen oder Zäunungen in der Anlage und Unterhaltung wohlfeiler waren. Man darf aber nicht an kostbare hohe Zäune, sondern nur an solche denken, die etwa 1 Fuß über den Boden vortreten, also nur die Graspflanzungen ersetzen. Das kürzeste Strauch und vielleicht selbst die abgemähten Blätter und Halme des Dünengrases könnten hierzu benutzt werden, und jede Unterstützung an den Seiten würde entbehrlich sein, wenn sie einen Spatenstich tief in den Boden eingreifen.

Was die sonstigen Dünen-Culturen betrifft, so darf man dabei die Thatsache nicht unbeachtet lassen, daß die heftigsten Winde jedesmal die Seewinde sind, weil sie mit ungeschwächter Kraft den Strand und die Dünen treffen. Der gelöste Sand bewegt sich daher vorzugsweise landeinwärts, eben so fliegt aber auch der Same an den Bäumen oder von andern Pflanzen in derselben Richtung, so daß die Vegetation dehnt sich am schnellsten von der Seeseite nach dem Binnenlande aus. Man muß daher, soweit andere dringende Rücksichten nicht vorliegen, wie etwa die schleunige Befestigung der andern Dünen, die Arbeiten jedesmal möglichst weit seewärts, so unmittelbar hinter der künstlichen Vordüne beginnen, vorausgesetzt, daß diese sich bereits so hoch erhoben hat, daß das Uebertreten der Wellen nicht mehr zu besorgen ist.

Von großer Bedeutung ist es, dem Sandfluge möglichst vollständig Einhalt zu thun, hierzu genügt aber nicht nur die Ausbildung und Bepflanzung der Vordüne, denn auch hinter derselben bilden sich gemeinlich einzelne hohe Kuppen, die, wenn sie für den Augenblick auch hinreichend befestigt erscheinen, doch durch den Sturm leicht von der Seite angegriffen und zerstört werden können,

wobei große Sandmassen landeinwärts fliegen. Hierdurch könnten spätere Culturen leicht zerstört werden, daher empfiehlt es sich vor Ausführung derselben, diese Kuppen, soweit sie gefährlich sind, zu beseitigen. In welcher Weise dieses mit geringer Nachbülfe geschehn kann, ist bereits bei Gelegenheit der Vordünen erwähnt worden. In diesem Falle wird man sich aber meist damit begnügen dürfen, die vorragenden Flächen im Herbst von aller Vegetation zu entblößen, und die Zweige oder Wurzeln möglichst tief zu beseitigen. Die Winterstürme treiben alsdann den kahlen Sand fort, den man durch Zäunungen an tieferen Stellen auffangen und ziemlich gleichmäßig ablagern kann. Jedenfalls muß aber dafür gesorgt werden, daß nicht neue Hügel sich bilden, und wenn dieses, nachdem die Vordüne dargestellt ist, auch weniger leicht geschieht, so können dennoch gefährliche Kuppen nach und nach emporwachsen. Veranlassung giebt hierzu fast jedesmal ein Weidenstrauch. Solche müssen daher, wo sie stark anwachsen und den Sand auffangen, beseitigt werden. Die Weide ist aber überhaupt einer geregelten Dünen-Cultur niemals förderlich, sie giebt vielmehr nur zu Unregelmäßigkeiten Veranlassung, ohne daß eine Benarbung des Bodens neben ihr eintritt. Es empfiehlt sich daher, soweit es ohne zu große Kosten geschehn kann, sie in dem Dünenterrain ganz zu beseitigen.

Was die Anpflanzung von Bäumen und Gesträuchen betrifft, so mag darüber nur bemerkt werden, daß in den Niederungen unmittelbar hinter der künstlichen Vordüne oft schon sehr erwünschte Gelegenheit hierzu sich bietet. Vorzugsweise gedeiht hier die Eller oder die Else, und zwar eben sowol die gewöhnliche, wie die weiße. Sie leidet aber nicht, wenn der Boden auch noch so tief liegt, daß er beim Anschwellen der See zur Zeit heftiger Stürme durch Grundwasser inundirt wird. Ein sehr großer Vorzug derselben vor andern Baumgattungen besteht darin, daß schon in dem ersten Sommer rings um die jungen Stämme der Boden sich mit Sandegge zu überziehn pflegt. Auch Birken, Pappeln und Espen gedeihen hier, aber doch weniger schnell und kräftig, als die Else, und der Boden neben diesen Bäumen pflegt viel länger kahl zu bleiben.

Solche Culturen, die in der Tiefe begonnen werden, dehnen sich leicht von selbst landeinwärts aus, namentlich wenn sie soweit angewachsen sind, daß sie Samen tragen. Hierbei tritt aber noch

er günstige Umstand ein, daß sie einen sehr kräftigen Schutz den hinter belegenen Flächen bieten. Das in Fig. 81 dargestellte Pro- der Frischen Nehrung bei Groß-Bruch läßt an der Höhe des ebüsches am Fusse der ersten Düne erkennen, wie die Pflanzung ch landwärts ausdehnt, dieses geschah hier ohne irgend eine künst- che Beihülfe. Bei Befestigung der wandernden Dünen ist aber die npflanzung von Sträuchern vor ihrem Fusse von der äußersten ichtigkeit, weil dadurch nicht nur die Kraft des Windes gemä- igt, sondern auch der untere Theil der Dossirung gedeckt wird.

Zur Bepflanzung der höheren Theile der Dünen eignet sich in urrem Klima wohl allein die Kiefer, mit der die älteren Dünen ch auch von selbst überzogen haben, sobald sie vor dem Hinzuk- eten neuer Sandmassen gesichert waren. Dieser Gegenstand ge- irt indessen unbedingt der Forstwirthschaft an, woher er hier über- angen wird.

§. 28.

Wirkung des Windes auf den Sand.

Im Vorstehenden ist vielfach von der Einwirkung des Windes uf den trockenen Seesand die Rede gewesen, und es sind Er- ährungen darüber mitgetheilt, wie letzterer von jenem in Bewegung etzt und oft sehr weit fortgetrieben wird, so wie auch, unter wel- chen Verhältnissen diese Bewegung aufhört und der Sand sich ab- agert. Obwohl diese Erscheinungen an sich keineswegs befrem- lend sein können, so dürfte es doch nöthig sein, den Zusammen- ang derselben mit bekannten Gesetzen noch näher nachzuweisen.

Ich habe in dieser Beziehung eine Reihe von Beobachtun- gen angestellt, indem ich in den Luftstrom, der aus einem Blase- alge austrat, feinen trockenen Sand hineinfließen ließ. Letzterer urde von der Luft erfaßt und horizontal fortgeführt, bis er sich uf ein dahinter liegendes Reifsbrett, das in beiden Richtungen durch arallel-Linien von 1 Zoll Abstand eingetheilt war, ablagerte. Diese blagerung konnte also ihrer Form nach sehr leicht bestimmt wer- en, und indem ich sowol dichte, als durchbrochene senkrechteände, theils normal gegen den Luftstrom, theils unter beliebiger ichtung gegen denselben aufstellte, so ergaben sich Erscheinungen,

die mit den oben angeführten nahe übereinstimmten, und deren Einzelheiten sich, wenn auch nur mit mässiger Schärfe, doch messen und in bestimmten Zahlenwerthen angeben liessen. Die Sandablagerungen sind, mit einem Pantographen übertragen, auf Taf. XIV dargestellt. Bevor jedoch zur nähern Betrachtung derselben übergegangen werden kann, muß auf einen wesentlichen Unterschied zwischen diesem Experiment im Kleinen und der Erscheinung im Großen aufmerksam gemacht werden.

Der Wind, der den Sand an der Meeresküste in Bewegung setzt, ist, wenn auch jederzeit dabei gewisse, und oft sehr auffallende Verschiedenheiten in der Richtung und Stärke an einzelnen Stellen vorkommen, doch eine allgemeine Strömung, die in sehr grosser Breite und mit gleicher Geschwindigkeit weit ausgedehnte Flächen trifft. Die Wirkungen, die sie ausübt, werden daher, sofern die Beschaffenheit des Bodens nicht selbst hierzu Veranlassung giebt, an den verschiedenen Stellen dieselben sein, auch vermindert sich die Geschwindigkeit nicht dadurch, daß andre Luftmassen, die ursprünglich an der Bewegung nicht Theil nahmen, von derselben mit erfaßt werden und sonach wegen der grösseren Masse, die in Bewegung gesetzt wird, die Geschwindigkeit sich vermindert. Dieses geschieht nicht, weil die gesammte Luft, welche eine grössere Fläche überdeckt, schon in der Strömung begriffen ist. Ihr Moment ist auch so gross, daß der Widerstand, den sie auf den Unebenheiten der Erdoberfläche und beim Begegnen von Waldungen und dergleichen erfährt, im Ganzen sie nur in geringem Maasse abschwächt, und bei Betrachtung kleinerer Theile, wie etwa einzelner Dünen, diese Verzögerung ganz unbeachtet bleiben darf.

In den Versuchen konnte dagegen nur ein feiner Luftstrahl dargestellt werden, der durch die umgebende ruhende Luft hindurchdrang. Die Erscheinungen, die beobachtet werden sollten, konnten daher nur in der Breite dieses Strahles wahrgenommen werden. Derselbe theilte aber seine Bewegung auch der umgebenden Luft mit, er nahm daher zwar sehr merklich an Breite zu, indem er aber immer aufs Neue grosse Massen mit sich fortrifs, so schwächte er sich so sehr, daß er in der Entfernung von 3 bis 4 Fufs schon ganz aufhörte, oder wenigstens seine Geschwindigkeit unmeßbar klein wurde.

Um die beobachtete Einwirkung auf den Sand richtig beurthei-

zu können, mußte nothwendig dieser Strahl selbst genau untersucht werden. Durch eine Bleiröhre von 0,5 Zoll Durchmesser wurde aus dem Blasebalge austretende Luft geführt. Diese Röhre war Ende durch eine dünne und vertikale Metallplatte geschlossen, an sich in der Höhe von 0,7 Zoll über dem Reifsbrette die feine Luftöffnung befand. Letztere hielt 0,153 Zoll im Durchmesser. Bei der gewählten Belastung des Blasebalges, die in allen Messungen unverändert dieselbe blieb, zeigte ein Manometer, das ohnfern der Ausflußöffnung an die Bleiröhre angekittet war, den Druck gleich einer Wassersäule von 1,18 Zoll. Auf den Quadratzoll betrug der Druck also 21,08 Gramme.

Die Richtung der Bewegung ließ sich durch kleine Fähnchen aus dünnem Bleche, oder bei schwächerer Strömung auch aus Papier, die auf einer Nadelspitze schwebten, leicht erkennen. Wenn das Papierblättchen horizontal gerichtet war und wieder mit einem Gegengewichte im Gleichgewicht gehalten wurde, während es auf einer feinen horizontalen Nadel ruhte, und sich um letztere drehen konnte, so zeigte es auch schwache aufwärts gerichtete Strömungen an, deren Neigung gegen den Horizont sich jedoch nicht genau ermitteln ließ, weil die Breite dieser Ströme meist sehr geringe war.

Um die Mittellinie des Luftstrahles sicher bestimmen und hieran das Reifsbrett genau einstellen zu können, wurde noch ein anderer kleiner Apparat, nämlich ein Flügelrad benutzt, das für diesen Zweck sich gut bewährte. An eine feine, vertikal aufgestellte Achse, die auf ihrer Spitze ruhte, waren zwei kreisförmige Papierblätter befestigt, deren Durchmesser gleich 0,6 Zoll war, und diese Blätter an ihrem Umfange gleichmäßig vertheilt, sechs kleine Papierstreifen, deren Ebenen radial gerichtet waren. Wenn man das Instrument in den Luftstrahl stellte, so drehte es sich in derjenigen Richtung, in der es von dem stärkeren Strome getroffen wurde, und die Drehung, die immer sehr heftig war, hörte aber auf, sobald die Achse in der Achse oder der Mittellinie des Strahles stand. Hieran die beiderseitigen Einwirkungen gleich groß, es erfolgte dann Ruhe, oder vielmehr es traten abwechselnd sehr schwache Drehungen nach der einen und der andern Seite ein.

Die Geschwindigkeit der Strömung mit einiger Sicherheit zu messen, gelang mir nicht, in sofern die hierzu dienenden Appa-

rate jedenfalls so klein sein mußten, daß sie nur solche Strahlen umfaßten, in denen die Geschwindigkeit nicht gar zu verschieden war. Zwischen schraubenförmig abgeschnittenen kleinen Prägewerken aus hartem Holze ließen sich wohl in sehr dünnem Messingbleche Flügelscheiben von 1 Zoll Durchmesser darstellen, aber die Anbringung der Vorrichtung zum Zählen der Umdrehung, wie bei dem Woltman'schen Flügel, war wegen der nothwendigen leichten Beweglichkeit und noch mehr wegen der eben so nothwendigen Beschränkung auf einen sehr kleinen Raum, unmöglich. Die letzte Bedingung durfte aber nicht unbeachtet bleiben, weil sonst der Apparat die Strömung wesentlich verändert und sonach zu ganz unpassenden Resultaten geführt haben würde.

Diese Messung liefs sich indessen dadurch ersetzen, daß der Druck der strömenden Luft auf eine kleine Scheibe beobachtet wurde. Hierzu bediente ich mich der Bifilar-Waage. Indem dieselbe wenig bekannt ist und gewiß auch in der Hydrodynamik mit grossem Nutzen vielfach angewendet werden kann, so dürfte es nicht unpassend sein, sie hier zu beschreiben und ihre Anwendung nachzuweisen.

Die Figuren 91 *a* und *b* zeigen das Instrument in der Ansicht von der Seite und von oben, und zwar in seiner halben Grösse. Eine starke Messingscheibe trägt in ihrer Mitte eine cylindrische Stange, um welche der untere bewegliche Arm sich dreht, an welcher er auch zugleich, indem er sie umfaßt, sich etwas erheben oder senken kann. Dieser Arm hängt an zwei gleich langen und gleich weit von der Achse entfernten möglichst leichten, also sehr feinen Seidenfäden. Letztere sind an einen andern Arm befestigt, der mittelst einer Schraube so eingestellt werden kann, daß der untere Arm, bevor er dem zu messenden horizontalen Drucke ausgesetzt wird, nahe über der Scheibe schwebt und zugleich auf den Nullpunkt der Gradeintheilung einspielt, welche auf einem Quadranten der Scheibe angebracht ist. Der bewegliche Arm trägt an dem andern, dem Zeiger entgegengesetzten, Ende die kleine Papierscheibe, gegen welche der Druck der Luft gemessen werden sollte. Dieselbe war einen halben Zoll breit und eben so hoch. Ein daran aufgekittetes Stückchen Kork, welches das Ende des Armes umfaßte, diente zur Befestigung der Scheibe an den letzteren. Damit der Arm selbst von dem Luftstrome möglichst wenig getroffen würde,

dünn ausgefeilt und außerdem noch mit einer Zuschärfung. Die Papierscheibe stand lothrecht, und in solcher Weise, daß die durch sie gelegte Ebene die Achse des Instrumentes bildete. Endlich wäre zu bemerken, daß dieser Arm so auszubalanciren wurde, daß sein Schwerpunkt, nachdem die Scheibe in die Mitte der kreisförmigen Oeffnung fiel, die cylindrische Achse umfaßte.

Es ergibt sich schon die Anwendung des Apparates. Sobald die Papierscheibe von dem horizontalen Luftstrome getroffen wird, so dreht sich der untere Arm um die Achse, und in der That immer sehr nahe in gleicher Weise gespannt bleibt, so ändern sie nicht ihre Länge. Der untere Arm muß da-

her gedreht werden, sich auch etwas heben, und wenn man die Messungen und das Gewicht der betreffenden Theile des Apparates ermittelt hat, so findet man leicht die Beziehung zwischen dem horizontalen Drucke, dem die Scheibe ausgesetzt wird, und dem Winkel, um welchen der Arm sich dreht. Damit aber der Arm stets normal trifft, auch letztere an derjenigen Stelle, wo man den Druck messen will, so muß man während der Beobachtung das ganze Instrument soweit drehen, bis diese Bedingung erfüllt ist. Es ist daher vortheilhaft, eine Unterlagsplatte mit einem niedrigen kreisförmigen Rande zu benutzen, wodurch die Drehung leicht auszuführen ist, ohne daß die Achse ihre Stellung ändert. Die Unterlagsscheibe war bei meinen Messungen sehr nöthig, um die Papierscheibe in die Höhe des Luftstromes zu bringen. Man benutzt dieses Instrument in der Art, daß der untere Arm nur an den beiden Enden durch die Achse nicht aber zugleich noch durch die cylindrische Achse hindurchgeführt wird. In solchem Falle müssen jedoch beide Enden der Achse ganz übereinstimmenden Pressungen ausgesetzt werden, sonst werden sehr starke Schwankungen eintreten pflegen. Letztere sind bei der hier dargestellten Einrichtung keineswegs ganz zu vermeiden, weshalb durfte die geringe Reibung, welche die feste Achse verursacht, unbeachtet bleiben.

Die Beziehung zwischen dem gegen die Papierscheibe ausübten horizontal-Drucke und dem Winkel, unter welchem der untere Arm seine Stellung verändert, läßt sich leicht nach Fig. 92 sei DBA der untere Arm in seiner ursprüng-

lichen Lage, also bevor die Kraft darauf einwirkte, dieselbe Linie stellt sonach auch den obern festen Arm dar. Die vertikale Drehungs-Achse befinde sich in C und der untere Arm habe sich in Folge des gegen den Angriffspunkt D' ausgeübten Normaldruckes P bis $D'B'A'$, also um den Winkel φ gedreht. Die beiden Fäden seien sowol oben wie unten in dem Abstände $= a$ von der Achse an die beiden Arme befestigt, und die Länge jedes Fadens sei l . Ferner sei der Abstand des Angriffspunktes der Kraft P von der Achse gleich b und das Gewicht des beweglichen Armes mit Einschluss der Papierscheibe gleich G .

Wenn der untere Arm in der angegebenen Weise sich gedreht hat, so behalten die beiden Fäden nicht mehr ihre lothrechte Stellung bei, sondern sind vielmehr schräge gerichtet, so daß sie bei der Projection auf den Horizont in die geraden Linien AA' und BB' fallen. Die Spannung jedes dieser beiden Fäden, die gleich S sei, zerlege man in drei rechtwinklig gegen einander wirkende Kräfte, nämlich

1. nach der Längenrichtung des Armes. Diese Kraft ist der Linie $B'E$ proportional, also gleich

$$\frac{a (1 - \cos \varphi)}{l} \cdot S$$

2. nach derjenigen Horizontalen, welche den Arm normal trifft, also BE . Diese ist gleich

$$\frac{a \sin \varphi}{l} \cdot S$$

3. endlich nach der Vertikalen. Der Werth derselben ergibt sich gleich

$$\frac{1}{l} \sqrt{l^2 - EB^2 - EB'^2} \cdot S$$

oder durch Einführung von a und φ

$$= \sqrt{\left[1 - 2 \frac{a^2}{l^2} (1 - \cos \varphi)\right]} \cdot S$$

$$= \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \sin \frac{1}{2} \varphi\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \cdot S$$

Die letzte oder die vertikale Spannung und zwar in beiden Fäden hält dem Gewichte des untern Armes das Gleichgewicht. Man hat also

$$\frac{1}{2} G = \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \sin \frac{1}{2} \varphi \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} S$$

$$S = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \sin \frac{1}{2} \varphi \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} G$$

Hieraus läßt sich die Spannung der Fäden berechnen, und wenn man den Werth derselben in den unter 2. angegebenen Ausdruck für die horizontale, normal gegen den Arm gerichtete Componente, die mit K bezeichnet werden mag, einführt, so ergibt sich

$$K = \frac{a}{2l} \sin \varphi \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \sin \frac{1}{2} \varphi \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} G$$

Diese Spannung tritt in gleichem Sinne in beiden Fäden ein, denn beide die Tendenz haben, den Arm in seine ursprüngliche Stellung zurückzudrehn. Sie wirken aber gleichmäfsig in der ganzen Länge der Fäden und treffen daher den Arm in den Punkten B' und A' , also in dem Abstände a von der Achse. Ihr Moment ist demnach gleich

$$2aK$$

gegen das Moment des Druckes

$$bP$$

ist. Beide halten sich wieder das Gleichgewicht, woher

$$\begin{aligned} P &= \frac{2a}{b} \cdot K \\ &= \frac{a^2}{bl} \sin \varphi \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \sin \frac{1}{2} \varphi \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} G \end{aligned}$$

Dieser Ausdruck läßt sich in vielen Fällen noch wesentlich vereinfachen, insofern

$$\begin{aligned} \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \sin \frac{1}{2} \varphi \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} &= 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{2a}{l} \sin \frac{1}{2} \varphi \right)^2 + \frac{3}{8} \left(\frac{2a}{l} \sin \frac{1}{2} \varphi \right)^4 \\ &\quad + \frac{5}{16} \left(\frac{2a}{l} \sin \frac{1}{2} \varphi \right)^6 + \dots \end{aligned}$$

Gemeinhin ist nämlich $2a$ viel kleiner als l , auch pflegt der Winkel $\frac{1}{2} \varphi$ nicht groß zu werden, woher in der letzten Reihe allein das erste Glied einen merklichen Werth behält, und die folgenden vernachlässigt werden können. Man erhält also annähernd

$$P = \frac{a^2}{bl} \sin \varphi \cdot G$$

Die unter 1. bezeichnete Componente der Spannung, nämlich in der Längenrichtung des Armes, ist bei dieser Untersuchung weiter in Betracht gekommen, man überzeugt sich auch leicht diese Pressungen in beiden Fäden einander gleich, aber sich entgegengesetzt sind, woher sie sich gegenseitig aufheben.

In dem von mir benutzten Instrumente wurde

$$a = 0,635 \text{ Zoll}$$

$$l = 5,20 \text{ Zoll}$$

$$b = 2,85 \text{ Zoll}$$

$$\text{und } G = 3,861 \text{ Gramme}$$

gefunden.

Mit den beschriebenen Apparaten wurde nun der Luftstrom untersucht, bevor seine Wirkungen auf den Sand beobachtet wurden. Dieser Strom trat aus der Zuleitungsröhre horizontal aus, was durch eine sehr dünne Blechscheibe, worin die Ausflussmündung sich mit großer Vorsicht in vertikale Richtung gebracht war. Es liess sich auch aus keiner Erscheinung eine Neigung des Strahles gegen den Horizont zu erkennen. Das Reissbrett mit den darauf gezeichneten netzförmigen Linien wurde so gelegt, dass die Mittellinie in die Richtung des Strahles fiel, und diese Einstellung konnte man sich sicher nach den kleinen Fähnchen, die immer stark schwenkten, als vielmehr nach dem bereits beschriebenen Flügelrädchen folgen.

Die Wirkung des Luftstromes liess sich an den Fähnchen in dem Abstände von 3 Fufs erkennen, während die Bifilar schon in der Entfernung von $2\frac{1}{4}$ Fufs von der Ausflussoffnung etwa um 1 Grad ausschlug. Zunächst kam es darauf an, zu untersuchen, in welchem Maasse die Stärke des Stromes und die in seiner Achse gemessen, bei zunehmender Entfernung sich mindert.

Nach der Bezeichnung auf dem Reissbrette traf die Ausflussoffnung auf 1.45 Zoll der Theilung, und in den nachstehend angegebenen Punkten x derselben Theilung wurden mittelst der Waage die Pressungen gemessen, deren Werthe, auf 1 Quadratcentimeter reducirt, mit P bezeichnet sind. Ich fand im Mittel aus mehreren Wiederholungen, und zwar indem ich nicht den Näherwerth, sondern den scharfen vorstehend angegebenen Ausdruck für die Berechnung des Luftdruckes benutzt hatte, die folgenden Pressungen:

für $x = 8$ Zoll	$P = 0,321$ Gramme
$= 10$	$= 0,217$
$= 12$	$= 0,175$
$= 14$	$= 0,128$
$= 16$	$= 0,101$
$= 18$	$= 0,080$
$= 20$	$= 0,065$
$= 22$	$= 0,044$
$= 24$	$= 0,036$

Um die Abnahme des Druckes bei wachsender Entfernung, oder die Beziehung zwischen P und x zu ermitteln, beginne ich zunächst die erste und letzte Beobachtung, indem ich ein

$$P = a \cdot s^2$$

Druck legte, wo s den Abstand der Papierscheibe von der Öffnung, also

$$s = x - 1,45$$

erhielt. Hieraus ergab sich

$$s = -1,8$$

Die Messungen sind also nahe den Quadraten der Abstände umgeproportional.

Ich erwähne sogleich, daß ich bei gleichmäßiger Berücksichtigung aller Beobachtungen, also bei Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate, vielfache Versuche machte, eine bessere Uebereinstimmung dadurch herbeizuführen, daß ich den Druck

$$P = \alpha s^{-2} + \beta s^2$$

Druck legte, und den positiven oder negativen Werth von z

Dieser Versuch gelang mir indessen nicht. Wenn ich aber

$$s = x + y$$

also gleichzeitig den Abstand s noch um eine constante GröÙe vergrößerte oder verminderte, so stellte sich für z eine sehr große und zwar mit negativem Zeichen heraus. Das zweite Glied wurde also, und die Beobachtungen stellten sich am einfachsten ziemlich genau wieder dar, wenn die Form

$$P = \alpha (x + y)^{-2}$$

erhalten wurde. Hiernach hat man

$$(x + y) \sqrt{P} = \sqrt{a}$$

$$o = x\sqrt{P} - \sqrt{a} + y\sqrt{P}$$

Dieser Ausdruck entspricht demjenigen, der zur Auffindung zweier Constanten nach der Methode der kleinsten Quadrate benutzt wird:

$$o = n + ar + bs$$

Man hat also

$$n = x\sqrt{P}$$

$$a = -1$$

$$b = \sqrt{P}$$

und die Unbekannten sind

$$r = \sqrt{a}$$

$$s = y$$

Die wahrscheinlichsten Werthe dieser Unbekannten r und s geben sich aus den beiden Gleichungen*)

$$o = \sum na + r \sum aa + s \sum ab$$

und

$$o = \sum nb + r \sum ab + s \sum bb$$

Das Zeichen Σ bedeutet die Summe der Producte der betreffenden Größen, wie sich diese aus allen einzelnen Beobachtungen herausstellen. Beispielsweise ist

$$\sum nb = \Sigma (x) P. \sqrt{P}$$

$$= \Sigma xP$$

$$= 8 \cdot 0,321 + 10 \cdot 0,217 + 12 \cdot 0,175 + \dots$$

Man findet hiernach

$$r = \sqrt{a} = 4,978$$

also

$$a = 24,786$$

und

$$s = y = + 0,364$$

Die wahrscheinlichen Fehler in diesen Bestimmungen sind

$$\text{für } \sqrt{a} \dots 0,181$$

und

$$\text{für } y \quad 0,502$$

Der wahrscheinliche Fehler von a ergibt sich, wenn man den Einfluss desjenigen von \sqrt{a} gehörig berücksichtigt, gleich 1,6. Beide Größen sind also mit sehr bedeutenden wahrscheinlichen Fehlern behaftet.

*) Grundzüge der Wahrscheinlichkeits-Rechnung von G. Hagen. Berl. § 30. – Die Ausführlichkeit in der Bezeichnung der vorstehenden Rechnungen wird dadurch entschuldigt werden, daß diese Methoden in der wissenschaftlichen Behandlung der Wasserbaukunst bisher noch wenig Eingang gefunden haben und daher manchem Leser fremde sein dürften.

lern behaftet, wie dieses auch nicht anders sein kann, da die
 uge wegen des anhaltenden Schwankens kaum bis auf 1 Grad
 er abzulesen war. Zur Vergleichung der gemessenen und be-
 neten Werthe von P mögen noch beide zusammengestellt werden.

	beobachtet	berechnet
für $x = 8$	$P = 0,321$	$P = 0,355$
$= 10$	$= 0,217$	$= 0,231$
$= 12$	$= 0,175$	$= 0,162$
$= 14$	$= 0,128$	$= 0,120$
$= 16$	$= 0,101$	$= 0,093$
$= 18$	$= 0,080$	$= 0,074$
$= 20$	$= 0,065$	$= 0,060$
$= 22$	$= 0,044$	$= 0,050$
$= 24$	$= 0,036$	$= 0,042$

Gewiss erscheint es sehr auffallend, daß die Abstände, deren
 drate den Pressungen umgekehrt proportional sind, von einem
 te ab gemessen werden sollen, der nach der Theilung auf dem
 brette auf $- 0,36$ Zoll trifft, also 1,81 Zoll hinter der Ausfluß-
 ng liegt. Man dürfte wohl voraussetzen, daß der Luftstrahl
 kegelförmig ausbreitet und hierdurch würde sich die Abnahme
 Druckes ungefähr erklären, daß aber die Spitze des Kegels so-
 innerhalb der Röhre liegt, zeigt, daß eine äußere Ursache un-
 lbar neben der Ausströmungsöffnung wesentlichen Einfluß
 en und an dieser Stelle die Regelmäßigkeit der Erscheinung
 brechen muß. Man kann aber schon 1 gegen 80 wetten, daß
 eobachtungen nicht so unrichtig sind, daß hierdurch sich die
 ng der Kegelspitze hinter die Ausflußöffnung erklären liesse.
 as gefundene Resultat ergab sich auch eine sehr auffallende
 igung, als ich in den Luftstrom Sand einfließen liefs. Schon
 guren 83 bis 90 lassen dieses erkennen, doch mußten diese
 chtungen immer sehr bald abgebrochen werden, damit nicht
 n höheren Sandablagerungen die verschiedenen Stärken der-
 unkenntlich würden. Als ich aber eine längere Zeit hin-
 bei fortgesetzter Bewegung des Blasebalges den Sand dauernd
 ießen liefs, erhielt ich sehr scharf begrenzte Sandablagerun-
 beiden Seiten des Luftstromes, deren Grenzen, wenn sie rück-
 verlängert wurden, sich wieder innerhalb der Röhre und zwar
 1 Zoll hinter der Ausflußöffnung schnitten. Dieses auf ganz

verschiedene Art gefundene Resultat schliesst sich also so genau, wie die mangelhafte Schärfe der Grenzlinien es gestattet, dem der Rechnung an. Die Erscheinung erklärt sich aber ohne Zweifel dadurch, dass der austretende Strahl die umgebende Luft mit sich fortreißt, und hiedurch sogleich hinter der Oeffnung eine große Breite annimmt. Wenn ich eine der kleinen Fahnen seitwärts aufstellte, so gab sich daran auch sogleich zu erkennen, wie die umgebende Luft der Ausflussoffnung zuströmte.

Hiermit steht noch eine andre Erscheinung in Verbindung, welche bei der ersten Anordnung des Apparates eine große Unregelmäßigkeit in den Sandablagerungen veranlasste. Um nämlich das Gefäß, woraus der Sand abfloß, in möglichst einfacher Art aufstellen zu können, so wurde dieses durch ein Brettchen getragen, welches auf einer Seite neben der Ausflussoffnung lag, also hier das Zuströmen der Luft in gewissem Grade verhinderte, ohne jedoch den Strahl selbst, wie sehr er sich auch verbreiten mochte, zu berühren. Der Erfolg davon war, dass die Sandablagerungen auf dieser Seite an die Mittellinie des Strahles auffallend näher herantraten, als an der gegenüber liegenden. Der Strahl konnte also an der Seite, wo der Zutritt der äußern Luft in gewissem Maasse behindert war, sich nicht so weit ausbreiten, als an der andern. Indem aber auch bei den spätern Beobachtungen eine vollständige Symmetrie in der Umgebung der Ausflussoffnung sich nicht darstellen liefs, so erklärten sich hieraus die geringen Unregelmäßigkeiten, welche die Zeichnungen nachweisen.

Wenn der Luftdruck nach dem entwickelten Gesetze bis zur Spitze des Kegels zunähme, so würde er in der letzteren 24,786 Gramme betragen, während er am Manometer, das an die Bleiröhre gekittet war, nur gleich 21,08 Gramme gemessen wurde. Die letzte Angabe bezieht sich aber in der That auf den im Blasebalge statt findenden Druck, und ist nicht etwa dadurch vermindert, dass dieser Druck in Folge der schwachen Strömung in der Röhre sich schon verringert hatte. Dieses ergab sich daraus, dass das Manometer während der Wirkung des Blasebalges unverändert denselben Stand behielt, wenn auch die Ausflussmündung geschlossen wurde. Unmittelbar vor der Ausflussoffnung würde nach demselben Gesetze der Druck 7,57 Gramme auf 1 Quadratzoll messen, also nur etwa den dritten Theil des Werthes annehmen, den er auf der innern

scheibe hat. Dieser Unterschied läßt gleichfalls darauf daſs beim Austreten des Strahles aus der Oeffnung der- ch eine groſſe Luftmasse in Bewegung setzt, und dadurch ät des Druckes sich wesentlich vermindert.

ichst kam es darauf an, zu untersuchen, in welcher Weise l sich verbreitete. Daſs dieses wirklich geschah, ergab Waage sehr augenscheinlich. Indem sie von der Aus- ſnung 3 Zoll entfernt war, bewegte sie sich erst, nach- e bis auf 0,5 Zoll der Mittellinie des Strahles genähert Abstände von 6 Zoll geschah dieses schon bei einer An- von 1,2 Zoll, bei 9 in 1,6 und bei 12 Zoll in 2,4 Zoll Ab- der Mittellinie. Sehr auffallend zeigten auch die kleinen diese Verbreitung. Nur in der Mittellinie strömte die el zur Achse des Strahles, seitwärts von derselben diver- ichtung. Die Abweichungen waren indessen immer sehr d nur vorübergehend schlugen die Fähnchen bis auf 12 , während sie bei ruhigem Stande nicht mehr, als etwa wichen. Ohnfern der Grenze der Strömung war die Ab- gröſſer, als in der Nähe der Mittellinie, doch war der l nicht bedeutend, und im Allgemeinen divergirte die Strö- unter dem Winkel von 4 bis 6 Graden gegen die Rich- mittellinie.

sen Richtungen, welche die Fähnchen angaben, maſs ich erlinie, die $8\frac{1}{2}$ Zoll vor der Ausfluſsöffnung lag, die Pres- s Luftstromes. Ich fand dieselben

in der Achse . . . 0,22 Gramme

1 Zoll seitwärts . 0,10 -

2 - - . 0,00 -

iner andern Linie, $13\frac{1}{2}$ Zoll von der Ausfluſsöffnung ent- en die Pressungen:

in der Achse . . 0,115 Gramme

1 Zoll seitwärts . 0,099 -

2 - - . 0,051 -

3 - - . 0,014 -

4 - - . 0,000 -

giebt sich hieraus, daſs der Strahl, indem er sich ausbrei- wegs an allen Stellen desselben Querschnittes gleiche Ge- zeit hat, diese vielmehr in der Achse am gröſsten ist und

nach den Seiten hin sich allmählig vermindert, bis sie endlich ganz verschwindet.

Die vorstehende Untersuchung des Luftstrahles, der zur Darstellung der Sandablagerungen im Kleinen allein benutzt werden konnte, war nothwendig, um die letzteren richtig aufzufassen und ihren Zusammenhang mit den großartigen Erscheinungen am Meeresstrande und auf den Dünen nachzuweisen. Auf die wesentliche Verschiedenheit zwischen diesem Experimente und den Wirkungen, die der Wind veranlaßt, ist bereits aufmerksam gemacht, wenn man aber die so eben entwickelten Eigenthümlichkeiten des isolirten Strahles berücksichtigt, so zeigen dennoch beide eine überraschende Uebereinstimmung, und indem der Versuch im Kleinen sich beliebig abändern und durch alle Abstufungen leicht verfolgen läßt, so führt er zur Erklärung jener großen Naturerscheinungen und zeigt, wie diese auch in Betreff der Sandablagerungen und der Dünenbildung sich wieder an die allgemeinen Gesetze der Mechanik anschließen.

Zu den Beobachtungen, welche sich auf das Treiben des Sandes beziehen, wurde der beschriebene Apparat ganz unverändert beibehalten, weil es darauf ankam, die Wirkungen desselben Luftstrahles, der in seinen Einzelheiten bereits bekannt war, durch directe Versuche darzustellen. Zunächst entstand die Frage, in welcher Weise der Sand der Einwirkung des Luftstromes am passendsten ausgesetzt werden könnte. Eine Veränderung oder Modification des letzteren mußte dabei jedenfalls vermieden werden, weil solche zu Sandablagerungen Veranlassung gegeben hätte, die den normalen Erscheinungen ganz fremde gewesen wären. Aus diesem Grunde durfte keine Schüttung neben der Ausflußmündung vor dem Beginne des Versuches angebracht werden, die der Strom nach und nach fortreiben sollte. Es blieb nur übrig, den Sand in feinem Strahle auf den Luftstrahl fallen zu lassen. Dieses war leicht zu erreichen, indem ich ein mit Sand gefülltes Gefäß in geringer Entfernung über dem Zuleitungsrohre aufstellte, und durch eine am Boden angebrachte Oeffnung den Sand ausfließen ließ. Es ist bekannt, daß die Ausströmung des Sandes von der Druckhöhe ganz unabhängig ist und daher sehr gleichmäßig erfolgt, so lange die Oeffnung noch nicht frei wird, außerdem findet in dem ausfließenden Sandstrahle auch eine Contraction statt, deren Coefficient mit

des Wassers sehr nahe übereinstimmt*), wenn in beiden Fällen die Oeffnungen in dünnen Blechen angebracht sind. Die Ausflugsöffnung am Boden des mit Sand gefüllten Gefäßes hielt sehr nahe 0,10 Zoll im Durchmesser, war also schon an sich kleiner, als diejenige, durch welche die Luft ausströmte, während in Folge der Contraction der Unterschied sich vielleicht noch vergrößerte. Sobald der Blasebalg in Bewegung gesetzt war, wurde der herabfallende Sand sehr vollständig von dem Luftstrome erfaßt, so daß wenige Körnchen unterhalb der Oeffnung auf das Reifsbrett fielen. Dieses geschah jedoch nur, wenn das Sandgefäß ganz genau so eingestellt war, daß beide Strahlen in ihren Mittellinien kreuzten. Bei den unvermeidlichen Erschütterungen konnte diese Bedingung nicht immer erfüllt werden, und in solchem Falle kamen die Ablagerungen auf dem Reifsbrette nicht mehr symmetrisch, sondern bildeten sich auf derjenigen Seite am stärksten aus, wo der Luftstrahl den meisten Sand auffing, und alsdann wurde ein Theil des Sandes gar nicht erfaßt und fiel senkrecht herab. Um letzteren zu beseitigen und um zugleich den Schieber, der über der Ausflugsöffnung lag, schon vor dem Beginne der Beobachtung abziehen zu können, so wurde in das Reifsbrett eine trichterförmige Oeffnung eingeschnitten, welche allen Sand, der senkrecht herabfiel, auffing, und in ein darunter stehendes Gefäß leitete. Der Schieber mußte indessen jedesmal schon geschlossen werden, während der Luftstrahl noch in voller Stärke ausströmte, weil anfalls der letztere, sobald er schwächer wurde, ganz andere Ablagerungen veranlaßt haben würde, als jener vorher untersuchte constante Strom bildete.

Das Reifsbrett war, wie bereits erwähnt, mit einem Netze von feinen Linien überzogen, die sich rechtwinklig schnitten und 1 Zoll voneinander entfernt waren. Sie waren sämmtlich numerirt und die Mittellinie des Reifsbrettes wurde, wie bereits erwähnt, durch einen Schieber des letzteren unter die Achse des Luftstromes gebracht. Die Sandablagerungen erfolgten in der Art, daß zunächst vor der

Die Resultate der Untersuchungen, welche ich über den Druck und das Verhalten des Sandes früher angestellt habe, sind in den Monats-Berichten der Academie der Wissenschaften 1852, Sitzung vom 19. Januar, Seite 53 mitgeteilt.

Oeffnung wegen der heftigen Strömung kein Körnchen liegen konnte, während die geringere Geschwindigkeit an den Enden des Strahles die Anhäufung der Sandkörnchen gestattete. Die Stärke der Ablagerung bezeichnete daher bis zu der Stelle, an der diese ihr Maximum erreichte, die Abnahme der Luftströmung. Seit dieser Grenze gestaltete sich das Verhältniß aber ganz anders, insofern hier der Sand nicht mehr in der entsprechenden Menge zugeführt wurde und endlich durch die nur noch wenig bewegte Luft auch kein Sand beigeführt werden konnte. Auf denjenigen Stellen des Reifsbrettes, welche ganz frei von Sand waren, wurden daher entweder von der stärksten oder von der geringsten Strömung getroffen. In der Richtung des Luftstrahles zeigte sich dessen noch in der Entfernung bis zu 3 Fuß von der Ablagerung eine sehr schwache Ablagerung, wo also die Bewegung der Luft schon so geringe war, daß sie unmöglich noch die Sandkörnchen bis dahin treiben konnte. Man muß also annehmen, daß die Sandkörnchen, die hier niederfielen, schon bei dem ersten Zusammenstoß mit dem Luftstrahle so heftig gestossen wurden, daß sie zu dieser Entfernung entweder unmittelbar, oder, wie es wahrscheinlicher scheint, durch wiederholtes Aufsetzen oder Ricochet überflogen.

Der Sand, den ich benutzte, war von dem Strande des Meeres entnommen, ziemlich fein, und von dunkler Farbe, wie vielfach als Streusand benutzt. Er besteht aus kleinen weißlich gelblich gefärbten, abgerundeten Quarzkörnchen, doch befinden sich darunter auch solche, die vom Magnet angezogen werden und eine schwarze Farbe haben. Auffallend war es, daß bei den Versuchen, die der Luftstrom verursachte, keine Sonderung der Sandkörnchen erfolgte, die doch wegen der abweichenden spezifischen Gewichte zu erwarten gewesen wäre. Die Sandkörner hatten nahezu dieselbe GröÙe. Diese wird im Folgenden näher beschrieben werden. Feiner Staub kommt darin gar nicht vor, wie bei dem Wellenschlage, wobei diese Ablagerungen am Meere sich bilden, schon ausgespült und durch den rücklaufenden Wasserstrom entfernt war. Man hebt diesen Sand in sehr dünnen Schichten, etwa von einem halben Zoll Stärke ab, weil er alsdann am gleichmäßigsten ausfällt. Einzelne gröÙere Körner pflegen aber dennoch darin sich vorzufinden, diese muß

Benutzung zu den in Rede stehenden Versuchen durch leises Abheben entfernen, weil sonst bei zufälligem Zusammentreffen mehrerer solcher Körnchen die Oeffnung gesperrt und der Sandstrahl unterbrochen worden wäre.

Bei Bestimmung der Stärke der Ablagerungen legte ich drei Abstufungen zum Grunde, die am sichersten sich erkennen ließen. Die erste Grenzlinie trennte den ganz frei gebliebenen Raum von demjenigen, worauf die Sandkörnchen vereinzelt lagen. Nichts desto weniger mußte dabei schon von denjenigen Körnchen abgelesen werden, die ziemlich entfernt von einander waren, weil sonst der freie Raum gar zu sehr beschränkt und bei manchen Beobachtungen gar nicht vorhanden gewesen wäre. Ich beachtete daher diejenigen Körnchen nicht mehr, die weiter, als 2 Linien von einander entfernt waren. Die nächste Grenzlinie wurde an derjenigen Stelle gezogen, wo die Körnchen hin und wieder einander schon berührten, oder wo Gruppierungen begannen. Die dritte endlich umschloß diejenigen Ablagerungen, welche das Reifsbrett vollständig überdeckten, so daß das weiße Papier darunter gar nicht mehr, oder doch nur an vereinzelt kleinen Stellen sichtbar blieb. Diese drei Abstufungen weisen die Figuren in den helleren oder dunkleren Stellen nach.

Das Auftreiben des Sandes wurde jedesmal nur so lange fortgesetzt, als die eigenthümlichen Erscheinungen, die vorzugsweise Gegenstand der Beobachtung waren, noch sicher bemerkbar blieben. So war es zum Beispiel bei Anwendung dichter oder durchsichtiger Wände von besonderer Wichtigkeit, die schwächeren Ablagerungen unmittelbar vor denselben noch darzustellen, diese verwanden indessen sehr bald, indem sie sich auch vollständig mit Sand überdeckten. Das Hinzutreiben frischen Sandes mußte daher aufhören, ehe dieses geschah.

Bei der erwähnten Eintheilung des ganzen Reifsbrettes durch ein Netz von numerirten Linien war es sehr leicht, jene Grenzen auf anderes in gleichen Abständen liniirtes Papier zu zeichnen, und so dargestellten Figuren wurden mittelst des Pantographen auf den kleinen Maafsstab übertragen, der für die Figuren 83 bis 87 gewählt ist. In allen diesen ist die Mittellinie des Strahles durch die punktirte Linie bezeichnet, auch zugleich die Stellung der Ausflußöffnung angegeben.

Abstand von der Ausflußöffnung hört die Bewegung des Sandes auf, denn die Körnchen, die darüber hinaus lagen, wurden nur in Folge des schon früher ihnen mitgetheilten Stosses so weit getrieben, und die Anhäufung würde sich an dieser Stelle nicht gebildet haben, wenn der Luftdruck daselbst noch eine Bewegung veranlassen konnte. Der Druck beträgt hier nach dem obigen Gesetze 0,057 Gramme auf den Quadratzoll, oder auf den größten Querschnitt eines Körnchens 0,0000064 Gramme, also ist derselbe dem siebenten Theile des Gewichtes des Körnchens gleich. Durch einen solchen wird letzteres nicht mehr bewegt, was auch an sich sehr wahrscheinlich war.

Fig. 84 zeigt die Ablagerung des Sandes, die sich bildete, wenn der Strahl gegen eine normal davor aufgestellte senkrechte Wand stiefs. Letztere war, wie auch in den folgenden drei Beobachtungen (Fig. 85, 86 und 87), 12 Zoll lang und $6\frac{1}{2}$ Zoll hoch und schnitt die Mittellinie jedesmal in $8\frac{1}{4}$ Zoll Abstand von der Ausflußöffnung. Ihre Höhe war so bedeutend, daß kein Sandkörnchen hinüberflog. Unmittelbar vor ihr bildeten sich sehr auffallende Seitenströmungen, die auch über die Wand hinaus sich noch durch die Richtung der Fähnchen zu erkennen gaben. Sie sind durch die beiden Pfeile bezeichnet. Ihre Stärke wurde durch die Pressungen gegen die Papierscheibe bestimmt. In der Mittellinie des Strahles und zwar einen halben Zoll vor der Wand ergab sich der Druck auf 1 Quadratzoll nur noch 0,142 Gramme, während er an derselben Stelle, ehe die Wand aufgestellt wurde, gleich 0,217 gefunden war. Die Seitenströme veranlaßten unmittelbar neben der Wand und zwar in nachstehend angegebenen Abständen von der Mittellinie des Strahles die folgenden Pressungen auf 1 Quadratzoll.

In 1 Zoll Abstand 0,156 Gramme

2	-	-	0,129	-
3	-	-	0,095	-
4	-	-	0,072	-
5	-	-	0,058	-
6	-	-	0,033	-

Im Abstände von 7 Zoll, also schon über die Wand hinaus, zeigten die Fähnchen noch die gleiche Richtung des Luftstromes an, doch war derselbe hier schon so geschwächt, daß die Bifilar-Waage nicht mehr meßbar ausschlug.

Sobald ich den Sand gegen die, in dieser Art aufgestellte Wand

fliegen liefs, so sprangen die Körnchen daran etwa 1 Zoll hoch empor, und fielen alsdann wieder zurück, wodurch die stärkere Ablagerung vor der Wand, selbst in der Mittellinie, sich bildete. Der dagegen tretende Luftstrom griff diese aber fortwährend an, so daß sie keine große Breite gewinnen konnte. Es gab sich sogleich eine schmale Rinne neben der Wand zu erkennen, die anfangs ganz leer blieb, sich aber nach und nach füllte, sobald die Ablagerung davor sie dem unmittelbaren Angriffe des Luftstromes entzog, doch auch später liefs sie sich noch wahrnehmen. Die Beobachtung wurde abgebrochen, sobald die Körnchen sich hier stark gruppiert hatten, weil später diese Rinne nicht mehr sicher zu erkennen gewesen wäre. Letztere war etwa 2 Linien breit und wurde ohne Zweifel durch die Seitenströmung veranlaßt. Diese Strömung blieb aber, wie aus der Messung des Druckes sich bereits ergibt, sehr geringe, weil die Wand nur an einer Stelle von dem schwachen Luftstrahl nicht aber, wie auf dem Seestrande geschieht, von einem sehr breiten Strome getroffen wurde. Es kann hiernach nicht befremden, daß diese wichtige Erscheinung im Experimente sich in viel geringerer Ausdehnung, als in der Wirklichkeit zu erkennen giebt. Ich muß noch erwähnen, daß die Ablagerung sehr nahe in gleicher Weise erfolgte, wenn ich diese Wand durch eine andre, eben so aufgestellte, jedoch nur 1 Zoll hohe vertauschte. Ueber letztere flogen indessen einzelne Sandkörnchen hinüber, so daß der Raum dahinter sich gleichfalls mit zerstreut liegenden Körnchen überdeckte.

Fig. 85 zeigt die Ablagerung, die sich bildete, wenn die erste vertikale Wand nicht normal gegen die Mittellinie des Strahles gerichtet war, sondern einen Winkel mit derselben machte, dessen Tangente gleich 3 war, oder der $71^{\circ} 33,9$ maß. Der Sand trieb hier augenscheinlich schon sehr stark nach derjenigen Seite, wo die Wand gegen den Strahl einen stumpfen Winkel bildet, nichts desto weniger entwich die Luft noch nach beiden Seiten der Wand, wie dieses sich auch an der Fortsetzung der Rinne in dem spitzen Winkel erkennen läßt. Die Stärke der Strömung in beiden Richtungen war jedoch schon auffallend verschieden. Der Druck derselben wurde an beiden Enden der Wand gemessen, und zwar ergab sich dieser im stumpfen Winkel gleich 0,058, im spitzen dagegen nur 0,021 Gramme auf den Quadratzoll.

enn die Richtung der Wand nach Fig. 86 um 45 Grade von Mittellinie des Luftstrahles abwich, so war die Parallel-Strömung dem spitzen Winkel nicht mehr zu erkennen, dagegen floss sie in dem stumpfen noch ein, ohne daß sie jedoch größere Stärke, als bei der früheren Stellung (Fig. 85) zeigte. Indessen jetzt an Breite zugenommen, wie dieses sich auch in der Rinne neben der Wand wahrnehmen läßt.

Fig. 87 zeigt endlich die Ablagerung, die sich bildete, wenn die Wand unter einem Winkel, dessen Tangente gleich 0,5 ist, oder der Winkel 50° misst, gegen die Mittellinie des Strahles gerichtet wurde. In den vorher erwähnten Erscheinungen haben sich hier noch stärker ausgesprochen und die Sandmasse wird überwiegend in den stumpfen Winkel hineingetrieben, wo sie neben der Wand wieder vor der Ablagerung eine etwas vertiefte und breite Rinne bildet.

Als nächst wurde statt der dichten, eine durchbrochene Wand benutzt, die aus einem dünnen Brettchen von 7 Zoll Länge an dessen unterer Seite auf $5\frac{1}{2}$ Zoll Länge eine Reihe von 10 gleich hohen Sägeschnitten angebracht war. Das Brettchen hatte das Ansehn eines Kammes erhalten, wobei jedoch die Enden nicht zugespitzt waren, sondern durchweg gleiche, und zwar 3 Zoll breite hatten, wie die dazwischen befindlichen Sägeschnitte. In einer rückwärts angebrachten Stütze wurde diese Wand wie gewöhnlich auf das Reißbrett gestellt und zwar genau übereinstimmend mit der bereits bezeichneten Aufstellung der festen Wand. Der Strahl traf wieder in die Mittellinie des Luftstrahles und war von der Ausflußöffnung entfernt. Auch bildete sie gegen die Richtung des Strahles nach einander die Winkel von 90, 71½ Grad.

Fig. 88 zeigt die Ablagerungen, welche eintraten, wenn die Wand dem Strahl normal auffing, und diese unterscheiden sich wesentlich von denjenigen an der dichten Wand, insofern die stärkste Ablagerung des Sandes theils unmittelbar vor und theils dicht hinter der Wand eintrat, während jene vertiefte Rinne, durch die Parallel-Strömung veranlaßt, hier gar nicht zu bemerken war. Auch die Ablagerungen, wenn sie an die Wand und selbst an den äußeren Theil derselben gerückt waren, ließen solche Seitenströmung erkennen. Die bewegte Luft drang also größtentheils durch

stellte. Der Raum zwischen beiden überdeckte sich alsdann so mit Sand und die Ablagerungen dehnten sich auch an beiden Seiten der Wände viel schneller aus. Der Versuch im neuen bestätigte also vollständig die Angemessenheit des oben beschriebenen Verfahrens, wonach zur Bildung der Vordüne durchbrochene Wände hinter einander gestellt werden.

Vierter Abschnitt.

Anordnung der Seehäfen.

stellte. Der Raum zwischen beiden überdeckte sich alsdann sogleich mit Sand und die Ablagerungen dehnten sich auch an beiden äußern Seiten der Wände viel schneller aus. Der Versuch im Kleinen bestätigte also vollständig die Angemessenheit des oben (§ 26) beschriebenen Verfahrens, wonach zur Bildung der Vordüne zwei durchbrochene Wände hinter einander gestellt werden.

Vierter Abschnitt.

Anordnung der Seehäfen.

§. 29.

Verschiedenheit der Häfen.

Die Seehäfen haben eine ganz andre Bestimmung, als die Flüsse, und sind daher von viel größerer Bedeutung, als diese. Die letzteren dienen, wie bereits im zweiten Theile dieses Handbuchs (98) erwähnt ist, zur Sicherung der Fahrzeuge gegen Eisgang oder gegen die heftige Strömung, die zur Zeit der höchsten Anschwellungen eintritt, sowie auch zur Erleichterung der Ueberwachung derselben, so oft sie nicht benutzt werden. Das Befrachten und Entladen der Flussschiffe auf dem Strome selbst oder auf Canälen ist dagegen mit keinerlei Gefahr verbunden, und geschieht daher auch fast immer an den natürlichen oder an den zu diesem Zwecke künstlich befestigten Ufern derselben.

Ganz anders verhält es sich mit der Seeschifffahrt. Es kommt wohl niemals vor, daß ein Seeschiff an das Ufer des offenen Meeres anlegt. Schon die mangelnde Tiefe vor dem Strande verbietet dieses und es könnte daher nur vor Felsufern geschehn, die sich sogleich aus dem Grunde erheben. Vorzugsweise gestattet aber die Wellenbewegung, die nur ausnahmsweise und auf kurze Zeit auftritt, und sich alsdann wieder sehr schnell und oft ganz unerwartet stellt, nicht die unmittelbare Annäherung an das Ufer. Das Schiff würde ebensowol bei der Berührung mit dem aufgeschwemmten Boden, wie mit einer felsigen Küste der augenscheinlichsten Gefahr ausgesetzt sein.

Nur in Buchten, die gegen die herrschenden Winde geschützt sind, findet man Landebrücken, die bis über die Untiefen neben dem Strande herausgeführt sind, und an deren äußern Enden die Schiffe unmittelbar anlegen und nicht nur Passagiere, sondern auch

Güter daselbst absetzen und aufnehmen. Beispiele kommen in England mehrfach vor. So ist eine solche Landebrücke an der südlichen Küste der Grafschaft Sussex bei Brighton 1100 Fufs weit in die flache Bucht hinausgeführt, welche westwärts durch die Insel Wight und auf der Ostseite durch das Vorgebirge Beachy-Head geschützt wird. Dieser Bau ist noch insofern wichtig, als er einer der ersten war, wobei das System der Hängebrücken in Anwendung kam. Um ihn vor dem Wellenschlage möglichst zu sichern, erhielt er Spannungen von 220 Fufs. Auf der Insel Wight ist vor Ryde zu gleichem Zwecke eine noch längere Landebrücke in gewöhnlicher Holzconstruction über die ausgedehnten Sandflächen fort bis zu etwas tieferem Wasser in den schmalen Arm hinausgeführt, der diese Insel von dem Ufer bei Portsmouth trennt.

Auch an der Ostsee kommen an geschützten Stellen ähnliche Anlagen vor. So sieht man bei Blandow auf dem nördlichen Ufer von Jasmund auf der Insel Rügen eine leicht construirte Landebrücke, über welche die dort fabricirte Schlemmkreide verladen wird. Die Meeresbucht davor ist gegen alle südlichen und westlichen Winde geschützt, aber dennoch dürfen die Schiffe nur bei sehr günstiger und ruhiger Witterung daselbst anlegen, auch ist die Brücke bei Nord- und Oststürmen vielfachen Beschädigungen ausgesetzt, und selbst vor vollständiger Zerstörung nicht gesichert.

An der westlichen Seite der Mündung des Hafens von Dover wird seit mehreren Jahren ein massiver Damm erbaut, der bereits etwa 400 Fufs vor das Ufer vortritt und die Wassertiefe von 40 Fufs erreicht hat. Er soll die beabsichtigte, rings umschlossene Rhede auf der Westseite begrenzen, doch fehlen gegenwärtig noch die andern Theile dieser großartigen Anlage, aber er gewährt bereits den Schiffen wesentlichen Schutz, die nach der Richtung des Windes entweder östlich oder westlich von ihm vor Anker gehn. Die Dampfböte, welche die Verbindung mit Calais vermitteln, legen gleichfalls an ihn an, und zwar wieder nach der jedesmaligen Richtung des Windes entweder an seiner östlichen, oder der westlichen Seite, während auf ihm die Eisenbahn sich befindet, auf der Reisende und Güter sogleich weiter befördert werden. Dieser Damm bildet nach den auf Veranlassung des Parlamentes darüber angestellten Vernehmungen eine sehr sichere Anlegestelle für Schiffe, doch wird dabei des Umstandes erwähnt, daß südöstliche Stürme, welche zu beiden

eiten eine starke Wellenbewegung veranlassen würden, wegen der Nähe der gegenüberliegenden Französischen Küste nur von geringer Wirkung sind, und daß der Uebergang eines heftigen Windes von Westen nach Osten immer durch Norden erfolgt, so daß also zwischen den Zeiten, wo die Wellen den Damm von der einen und der andern Seite treffen, jedesmal eine gewisse Abstillung des Wassers erfolgt, in welcher die Schiffe Gelegenheit haben, ihren Ankerplatz oder ihre Anlegestelle zu wechseln. Es ergibt sich hieraus, daß der Bau in seiner jetzigen Ausdehnung zwar bereits sehr nützlich ist, daß er aber dennoch nicht die Bequemlichkeit bietet, welcher große Verkehr fordert. Der Damm bildet, je nachdem die Wellen von der einen, oder der andern Seite anlaufen, eine ziemlich geschützte Bucht, deren Sicherheit aber aufhört, sobald der Wind umsetzt.

Wenn nach dem Vorstehenden auch hin und wieder in Buchten oder in engen Meeresarmen ein Anlegen der Schiffe an solche Landebrücken erfolgt, so bezieht sich dieses doch immer nur auf einen sehr beschränkten Verkehr, und der große Handel fordert unbedingt geschützte Liegeplätze für die Seeschiffe, worin mit voller Sicherheit die Ladungen eingenommen oder gelöscht werden können, und wo die Schiffe, auch ohne vollständig bemannt zu sein, überwintern oder zu andrer Zeit ohne Gefahr liegen, wenn sie nicht gebraucht werden.

Vielfach kommt es auch vor, daß Ladungen außerhalb des Hafens und zwar vor demselben, auf der Rhede, eingenommen oder gelöscht werden. Das Schiff ankert alsdann auf tiefem Wasser und die Ladung wird auf flachen Lichterfahrzeugen zu- oder abgeführt. Man ist hierzu gezwungen, so oft die Hafenmündung sich so sehr verflacht hat, daß die Schiffe mit voller Ladung nicht ein- und auslaufen können. Außerdem muß dasselbe auch geschehn, wenn Holz oder Getroide von einem an der See belegenen Orte, der keinen Hafen hat, unmittelbar in Seeschiffe verladen werden soll. Das Letzte findet zum Beispiel bei dem Städtchen Leba in Hinterpommern statt, wo aus den benachbarten Forsten große Holzmassen auf dem Lebaflusse herabgeflößt und hier verladen werden. Die Mündung dieses Flusses ist aber nur etwa 3 Fuß tief, daher können selbst die kleinen Dänischen Jachten nicht einlaufen, auch sogar dürfen sie sich dem flachen Strande nicht weit nähern. Sie müssen

daher in der Entfernung von etwa einer Viertel Meile vor Anker gehn, und das Holz muß entweder in kleine Böte verladen, oder wenn es Langholz ist, herausgeflößt werden. Letzteres ist besonders sehr beschwerlich, und da die Flöße bei dem langsamen Fortgange leicht von einem inzwischen entstehenden Winde, auch wohl durch eine heftigere Küstenströmung erfaßt werden, so treibt das Holz nicht selten fort. Für das Fahrzeug, das vor Anker liegt, tritt aber auch zuweilen große Gefahr ein, und ohne Rücksicht darauf, ob es seine volle Ladung hat, oder nicht, müssen bei zunehmendem Winde die Anker gelichtet und die Segel beigesetzt werden. Ganz ähnlich sind die Verhältnisse, wenn vor einem größeren Hafen, dessen Mündung nicht die nöthige Wassertiefe hat, die ankommenden und ausgehenden Schiffe den ersten oder letzten Theil der Ladung auf der Rhede löschen oder einnehmen müssen, weil sie nur mit geringerem Tiefgange die Mündung passiren können. Dieses war in früherer Zeit bei Pillau beinahe immer nothwendig, aber in jedem Jahre wiederholten sich dabei auch Unglücksfälle, indem Holzflöße forttrieben oder Theile anderer Ladungen verloren wurden, auch wohl die Lichterfahrzeuge in weiter Ferne Schutz suchen mußten und selbst die großen Seeschiffe vor den Ankern trieben, und indem sie die Küste nicht mehr frei segeln konnten, auf den Strand gesetzt wurden.

Um die Güter mit Sicherheit löschen und verladen zu können, muß das Schiff dem Wellenschlage ganz entzogen werden. Dieses ist vorzugsweise der Zweck des Seehafens. Welche Anforderungen an einen solchen zu stellen sind, damit sowol die Schiffe beim Ein- und Auslaufen und während sie darin liegen, keiner Gefahr ausgesetzt werden, als auch, daß der Verkehr sich möglichst erleichtert wird im Folgenden ausführlich zu behandeln sein. Hier mag nur bemerkt werden, daß ein Handelshafen ausgedehnte und geräumige Kais mit den nöthigen Kränen und Speichern erfordert, daß auch Land- und Wasserstraßen nach dem Binnenlande ihm nicht fehlen dürfen, während man in neuerer Zeit häufig Eisenbahnen bis zu den Anlegestellen der Schiffe führt. Es müssen ferner die nöthigen Anstalten zum Neubau und zur Reparatur der Schiffe, so wie auch zur Versorgung derselben mit frischem Wasser, mit Ballast und dergleichen getroffen sein.

Der Kriegshafen unterscheidet sich wesentlich vom Handels-

den dadurch, daß er nur zur Unterbringung und Ausrüstung der Kriegsschiffe dient, nicht aber für den öffentlichen Verkehr bestimmt ist. Eine vollständige Ausschließung des letzteren ist bei ihm theils in Betreff der Erhaltung der Disciplin der Mannschaft und theils zur Sicherung der großen Masse des werthvollen Materials geboten, während andererseits der öffentliche Verkehr in ihm so vielfach gehemmt und erschwert würde, daß dieser doch keinen gedeihlichen Fortgang gewinnen könnte. In früherer Zeit wurde diese Trennung weniger beachtet, doch hat man sich gegenwärtig von der Nothwendigkeit derselben in allen Fällen überzeugt, wo grössere Flotten unterhalten werden. Hiernach gestaltet sich ein Kriegshafen zu einem grossartigen Etablissement, von dem jeder Theil seine besondere Bestimmung erhält. Die Räumlichkeiten und Anlagen müssen aber in der Art geordnet werden, daß die Benutzung derselben möglichst bequem und ohne gegenseitige Störung erfolgen kann. Der vordere Theil des Hafens nimmt die in Dienst gestellten Schiffe auf, die zum Auslaufen bereit sind. Zur Seite desselben pflegen die Casernen sich zu befinden. Weiterhin ist der Hafen für die Ausrüstung bestimmt. Hier stehn in der Nähe desselben die Magazine, welche die verschiedenen Gegenstände, auch die Waffen, Munition und Proviant enthalten. Ganz getrennt und wenn nicht vielleicht an einem besonderen Bassin, sind am hintern Theile des Hafens die Anlagen zum Neubau und zur Reparatur der Schiffe vereinigt, also vorzugsweise die Hellinge, Trocken-Docks, die Holzvorräthe, daneben auch die Schmieden und verschiedenen mechanischen Werksätten nebst den Magazinen der Rohstoffe. Ausserdem müssen Gräben für die Aufbewahrung der Masten, Seilspinnereien, ferner Pulvermagazine, Beamtenwohnungen, Lazarethe und dergleichen nicht fehlen. Das ganze Etablissement ist aber mit Festungswerken umgeben, um es gegen Angriffe von der Landseite, und vorzugsweise von der See-
seite zu sichern.

Die letzte Rücksicht erfordert eine ganz besondere Vorsicht, seitdem die weit tragenden Geschütze Anwendung gefunden haben. Wenn in einem Kriege zwischen civilisirten Völkern ein Handels-
hafen auch vom Feinde blockirt oder genommen wird, so würde es
dennoch heutiges Tages als ein ganz ungerechtfertigter Vandalismus
erscheinen, wenn die Speicher und Schiffe zerstört und verbrannt
werden sollten. Anders verhält es sich mit der Kriegsflotte und dem

Kriegshafen. Die Vernichtung beider wird der Feind sich jedesmal zur Aufgabe machen, sobald sich irgend die Gelegenheit dazu bietet. Die an der Hafenmündung und sonst am Ufer errichteten Festungswerke können dieses aber nicht verhindern, wenn das Etablissement sich in der Nähe der offenen See befindet. Es bleibt daher nur übrig, dasselbe soweit zurückzulegen, daß es vom Meere aus durch kein Geschoss erreicht werden kann, und am sichersten liegt es, wenn es außerdem noch durch Gebirge und hohe Ufer von dort her dem Blicke vollständig entzogen ist. Es kommt alsdann nur darauf an, das Einlaufen feindlicher Schiffe in den Hafen zu verhindern, was durch Forts, die das Fahrwasser der Länge nach bestreichen, am sichersten zu erreichen ist, wiewohl die in neuester Zeit eingeführten Panzerschiffe auch in dieser Beziehung eine viel größere Vorsicht bedingen dürften.

Ein ferneres Erforderniß eines Kriegshafens ist seine leichte Zugänglichkeit und zwar bei allen Wasserständen. Wenn diese Bedingung aber nicht vollständig erreicht werden kann, und etwa der innere Theil des Hafens durch Schleusen geschlossen, also in ein Dock verwandelt werden muß, so ist wenigstens darauf zu sehen, daß vor demselben ein hinreichend tiefes, jederzeit zugängliches Bassin sich befindet, das rings um von fortificatorischen Anlagen umgeben ist, welche das Eindringen feindlicher Schiffe verhindern. Vor diesem darf keine Schleuse liegen, weil dadurch das Ein- und Auslaufen verzögert werden würde. Die Wirksamkeit der ganzen Flotte, wie des einzelnen Schiffes, wird aber wesentlich dadurch verstärkt, wenn der günstige Zeitpunkt zum Auslaufen ohne Aufenthalt benutzt, und andererseits, falls eine überlegene feindliche Macht ein schnelles Zurückgehn fordern sollte, die Schiffe bei der Rückkehr in dem Hafen sogleich Schutz finden. Die Englischen Kriegshäfen liegen sämtlich in Meeresbuchten, die zwischen Felsenuern sich mit hinreichender Tiefe soweit in das Land hineinziehen, daß durch die Forts zu beiden Seiten das Einlaufen feindlicher Schiffe verhindert werden kann. Ganz dasselbe ist auch in Frankreich bei Brest und Toulon der Fall und der neuere Französische Kriegshafen bei Cherbourg befindet sich hinter dem großartigen Steindamme, der die Rhede gegen Wellenschlag sichert, und durch die darauf erbauten drei Forts in Verbindung mit den gegenüber auf der Insel Pelée und auf dem festen Lande aufgeführten Werken, einen feind-

den Angriff wenigstens sehr erschwert. In dem eigentlichen Hafen ist aber ein offener geräumiger Vorhafen von solcher Tiefe anbracht, daß selbst die größten Schiffe beim Niedrigwasser zur Zeit der Springfluthen darin noch sicher schwimmen, und wenn vor der Mündung desselben diese Tiefe auch nicht vollständig dargestellt ist, so wird diese durch fortgesetztes Sprengen des Felsenrundes doch beabsichtigt, und es ist zu erwarten, daß die Schiffe selbst bei dem kleinsten Wasserstande bald in dieses Bassin werden ein- und auslaufen können.

Auch in die Niederländischen, nur im flachen Lande eingerichteten Kriegshäfen können die Schiffe, ohne eine Schleuse zu befehren, so weit gelangen, daß sie vor den Geschossen der auf der See liegenden Flotte, sowie auch durch die vor- oder seitwärts belegenden Forts gegen Verfolgung gesichert sind. Der Hafen Nieuwen-Diep (Fig. 28) kann nur unter den Kanonen der Forts bei Huisduinen und an der Mündung des Hafens erreicht werden. Von der offenen See ist er etwa eine Meile weit entfernt. Vlissingen liegt hinter den engen Fahrwassern der Mündung der Schelde und über 2 Meilen von der See entfernt. Der Zugang feindlicher Schiffe wird daher auch hier durch die an den Ufern befindlichen Forts verhindert, aber dennoch bildet ein offener, durch keine Schleuse geschlossener Vorhafen den Zugang zu dem eigentlichen Kriegshafen.

Die Anlage einer Schleuse vor einem Kriegshafen würde aber auch noch in andrer Beziehung höchst bedenklich und gefährlich sein. Wenn nämlich die feindlichen Schiffe sich derselben in der Richtung der Hafenmündung soweit nähern könnten, daß die Thore von den Geschossen zu erreichen wären, so würden dieselben ohnfehlbar sogleich zerstört und dadurch der Zweck der Schleuse nicht nur in der wichtigsten Zeit vereitelt, sondern außerdem auch der Zugang zum Hafen vollständig gesperrt werden. Wenn also wegen des starken Fluthwechsels der innere Hafen in ein Dock verwandelt werden muß, und die Schleuse nicht entbehrt werden kann, so ist es nothwendig, diese an eine Stelle zu verlegen, wo sie vor den Geschossen feindlicher Schiffe vollständig gesichert ist.

Diese Andeutungen mögen in Betreff der Kriegshäfen genügen, für welche die Verbindung mit dem Binnenlande und die Erhaltung der Tiefe in ihren Mündungen eben so wichtig ist, wie für Handelshäfen. In letzter Beziehung findet zwischen beiden kein wesentli-

cher Unterschied statt, obwohl der Kriegshafen eine sehr große Tiefe erfordert, da ausgerüstete Linienschiffe nach der älteren Bauart 27 Fuß eintauchen, und selbst dieses Maass für große gepanzerte Schiffe nicht genügen dürfte.

Als eine besondere Art von Seehäfen sind ferner die sogenannten Quarantaine-Häfen zu erwähnen. Dieselben dienen zur Aufnahme solcher Schiffe, durch welche die Einführung ansteckender Krankheiten besorgt wird. Neben manchen Handelshäfen, die einen directen Verkehr mit dem Orient oder den Westindischen Inseln vermitteln, sind besondere Liegeplätze für solche Schiffe bestimmt, auf welche die Quarantaine Anwendung findet, wo also die Besatzung und die Passagiere an Bord bleiben müssen. Dieses geschieht zum Beispiel bei Cuxhaven, woselbst verdächtige Schiffe außerhalb des Hafens an einer wenig geschützten Stelle an der Elb ankern und den Ablauf der vorschriftsmässigen Zeit abwarten müssen. An der Ostsee kommen ähnliche Quarantaine-Anstalten nicht vor, weil schon im Sunde in dieser Beziehung die nöthige Aufsicht geführt wird. Nur zur Zeit des ersten Erscheinens der Cholera, im Jahre 1831, sollten aus den wichtigeren Preussischen Häfen die verdächtigen Schiffe auf andre Liegeplätze verwiesen werden, bevor jedoch diese eingerichtet waren, hatte die Krankheit sich bereits so weit verbreitet, daß es der Absperrung nicht mehr bedurfte.

Sehr zweckmässig ist der Quarantaine-Hafen bei Marseille eingerichtet, woselbst die lebhafte Verbindung mit dem Orient eine Anlage dieser Art besonders nöthig machte. In einem Abstände von etwas mehr als einer halben Deutschen Meile vom Hafen liegen nahe neben einander die beiden kleinen felsigen Inseln Ratoneau und Pomégue, die zusammen auch der Frioul genannt werden. Ein Steindamm ist durch den schmalen Meeresarm, der sie trennt, seit längerer Zeit hindurchgeführt und in dieser Art sind Liegeplätze für die Quarantaine-Schiffe gewonnen. Damit diese jedoch beim Drehen des Windes nicht in Gefahr kommen, so ist später auf der östlichen Seite des Armes von der Insel Ratoneau aus noch ein zweiter Damm ausgeführt, der sich bis auf 480 Fuß der Insel Pomégue nähert. Hierdurch ist ein Hafen gebildet, der bei großer Wassertiefe gegen alle Winde geschützt ist. Die Quarantaine-Anstalt befindet sich auf der letztbenannten Insel, die niemand betreten, oder vielmehr niemand ohne besondere Erlaubniß verlassen darf. Di

hat auch hinreichende Ausdehnung, so daß die nach einander auf verschiedenen Schiffen angekommenen Personen getrennt werden können, um die Uebertragung der Krankheit von einer Mannschaft auf die andre zu verhindern.

Eine eigenthümliche Art von Häfen sind noch die Sicherheits- oder Zufluchts-Häfen. Sie werden benutzt, wenn Schiffe während der Fahrt bedeutende Havarien erlitten haben, so daß sie nicht mehr seefähig sind, und vorzugsweise gewähren sie Schutz bei heftigen Stürmen. Die Kunst hat in den meisten Fällen zu ihrer Bildung und Einrichtung wenig beigetragen, und sie sind nur natürliche Buchten, worin die Schiffe mit grösserer oder minderer Sicherheit vor Anker liegen können. An der Küste von Norwegen befinden sich mehrere derselben, die in früherer Zeit von den Ostseeschiffen auf dem Wege nach England nicht selten angelaufen wurden, wodurch aber gemeinhin die Fahrt übermäfsig sich verzögerte, weil das Aussegeln sehr grosse Schwierigkeiten bot, und oft Monate hindurch auf den dazu passenden Wind gewartet werden mußte. Der Mangel an innern Verbindungen und sonach die Schwierigkeit, das Schiff mit Lebensmitteln und andern Erfordernissen zur Fortsetzung der Reise zu versehen, machte ausserdem den Besuch dieser Häfen immer sehr bedenklich, wenn auch unbedingt viele Schiffe darin Rettung gefunden haben.

Dieselbe Benennung Zufluchtshäfen (harbours of refuge) giebt man an solchen Meeren, wo ein starker Fluthwechsel statt findet, auch denjenigen Häfen, in welche die Schiffe zur Zeit des niedrigen Wassers einlaufen können. Dieses ist keineswegs der gewöhnliche Fall, vielmehr ist der Vorhafen gemeinhin nur durch Umschließung eines Theils der Wattgründe gebildet und mit Ausnahme der tieferen Rinnen, die sich darin zu erhalten pflegen, wird er bei der Ebbe trocken. Dieses sind die sogenannten Fluthhäfen (tidal harbours), die sich also nur während der Fluth füllen und allein zur Zeit des Hochwassers zugänglich sind. Die Schiffe müssen daher den Eintritt dieser Periode auf der offenen See oder auf der mehr oder weniger geschützten Rhede abwarten, und wenn sie eingelaufen sind, gehn sie in die Fluthhäfen oder Docks, die beim Eintritt der Ebbe durch Schleusen gesperrt werden. Letztere bestehen gewöhnlich nur aus einem einzigen Haupte, welches mit einem Thorpaare versehen ist. Der Wasserstand der Fluth wird

durch sie zurückgehalten, so daß die Schiffe in dem Dock bis zum Eintritt des nächsten Hochwassers schwimmen und nicht auf den Grund setzen.

Wie wichtig diese letzte Einrichtung auch ist und wie sehr dadurch die Anlage von Häfen unter solchen Verhältnissen erleichtert wird, so ist die zeitweise Unzugänglichkeit des Hafens doch oft für die ankommenden Schiffe höchst gefährlich. Die Englische Regierung ist seit langer Zeit auf diesen Umstand aufmerksam und hat bereits sehr großartige Anlagen ausführen lassen, um geschützte Buchten zu bilden, in welchen die Schiffe während starker Stürme sicher liegen können. Dieses ist auf der südlichen Küste oder am Canale sowol bei Portland, als auch bei Dover, und eben so im Irischen Canale auf der Insel Anglesey bei Holyhead geschehen. Ueberaus dringend bleibt das Bedürfnis aber noch auf der östlichen Küste von England und zwar von der Schottischen Grenze bis zum Vorgebirge Flamborough, nördlich von der Mündung des Humber, woselbst kein stets zugänglicher Hafen existirt. Es ergibt sich aus den darüber angestellten Untersuchungen*), daß auf dieser etwa 150 Seemeilen langen Strecke in den fünf Jahren 1852 bis 1856 nicht weniger, als 337 Strandungen vorkamen, wobei die Schiffe total verloren wurden. Außerdem waren in derselben Zeit hier noch 409 schwere Havarien angemeldet. Diese Verluste hatten vorzugsweise die Kohlenschiffe betroffen, die von der Tyne und aus andern benachbarten Häfen die Kohlen sowol nordwärts, als auch besonders südwärts, also nach London führen. Ohne Zweifel rühren die vielen hier eintretenden Unglücksfälle größtentheils von der schlechten Beschaffenheit der dabei verwendeten Schiffe, ihrer ungenügenden Ausrüstung und ihrer noch mangelhafteren und unzuverlässigen Bemannung her, aber jedenfalls ist es ein sehr großer Uebelstand, daß die höchst frequente Küsten-Schiffahrt auf dieser langen Strecke keinen Hafen findet, der jederzeit offen wäre und bei nördlichen und östlichen Stürmen Schutz böte. Ueber die Anlage von Sicherheitshäfen an dieser Küste ist schon lange verhandelt, doch scheint es, daß man über die Wahl der passendsten Stellen noch nicht einig ist.

*) Report from the select Committee on harbours of refuge. 1857

§. 30.

Bezeichnung der Häfen.

Abgesehn von den verschiedenen Bedürfnissen, die sich nach den jedesmaligen Localverhältnissen und nach den besondern Zwecken der Häfen herausstellen, giebt es gewisse Anforderungen, die man, wenn sie auch keineswegs immer vollständig erfüllt werden, doch an jeden Seehafen stellen darf.

Zunächst muß die Lage desselben dem ankommenden Schiffer sowohl bei Tage, als auch vorzugsweise in der Dunkelheit deutlich bezeichnet werden. Nur kleinere Fahrzeuge oder sogenannte Küstenfahrer, die zwischen nahe belegenen Häfen und Strandörtern im Verkehr vermitteln, pflegen in der Nähe des Ufers zu bleiben. Für größere Schiffe ist es theils viel sicherer, das offene Meer zu halten, weil sie alsdann bei Stürmen weniger der Gefahr ausgesetzt sind, auf das Ufer getrieben zu werden, theils aber verkürzt sich ihr Weg gemeinhin auch sehr bedeutend, indem sie in gerader Linie nach ihren Bestimmungsorten fahren. In dieser Weise verliert der Schiffer sehr bald das Land aus dem Gesichte, und er muß dennoch nicht nur den richtigen Weg einschlagen, sondern auch jederzeit wissen, an welcher Stelle desselben er sich befindet, damit er nicht über den Bestimmungsort hinausgeht, oder unerwartet sich dem Ufer zu sehr nähert. Für diesen Zweck sind bei größeren Reisen astronomische Beobachtungen ganz unentbehrlich, aber selbst auf kürzerer Entfernung kann leicht die Dauer der Fahrt wegen ungünstiger Winde sich so sehr ausdehnen, daß die einfache graphische Darstellung des Curses oder das Besteck seine Sicherheit verliert, und dann der Schiffer gezwungen ist, durch Breiten- und Längenbestimmung den Punkt aufzusuchen, auf dem er sich befindet. Dieses kann jedoch nur in dem Falle geschehn, daß wenigstens für kurze Zeit die Sonne durch die Wolken bricht oder ein sternenheller Himmel sich zeigt. Ohne dieses bleibt der Schiffer allein auf sein Besteck gewiesen. Man versteht darunter die Zeichnung des zurückgelegten Weges, der von vier zu vier Stunden, oder nach jeder Vache in die Seecharte eingetragen wird. Die Richtung, in der das Schiff segelt, ergiebt der Compas, doch darf diese nicht mit der Richtung verwechselt werden, in der das Schiff liegt, denn es treibt

oft ziemlich stark seitwärts, und man muß also aus dem Kielwasser, oder dem sehr kenntlichen Striche, der sich unmittelbar hinter dem Schiffe auf dem Wasser zeichnet, die Richtung entnehmen, in der das Letzte sich wirklich bewegt. Diese verbesserte Richtung wird mittelst eines Parallel-Lineals nach den Windrosen, von denen sich meist mehrere auf derselben Chartre befinden, in diese eingetragen.

Die Geschwindigkeit des Schiffes oder die Fahrt wird auch gegenwärtig noch meist mit dem gewöhnlichen Log gemessen (§ 10). Die Anzahl der Knoten, die in einer halben Minute ablaufen, ist gleich der Anzahl von Seemeilen, die das Schiff in einer Stunde, oder gleich der Anzahl von geographischen Meilen, die es in vier Stunden oder in einer Wache zurücklegt. Diesen Weg trägt man mit dem Cirkel, den der Seemann den Passer nennt, auf die vorher gezogene Richtungslinie, und in dieser Weise wird die Stelle, wo das Schiff sich befindet auf der Chartre markirt. Wenn die Messungen sorgfältig gemacht und eingezeichnet werden, auch der Weg sich nicht etwa durch anhaltendes Laviren gegen conträren Wind sehr verlängert, so pflegt das Besteck während einiger Tage zur Orientirung zu genügen. Bei längeren Fahrten und wenn sich nicht Gelegenheit bietet, durch astronomische Beobachtungen die Zeichnungen zu berichtigen, oder wenn vollends im heftigen Winde lange lavirt werden muß, oder starke Meeres-Strömungen vorkommen, die das Schiff weit vertreiben, so läßt sich die Ortsbestimmung in dieser Art nicht mehr mit Sicherheit machen, und es bleibt ungewiß, vor welchen Ufern und wie nahe denselben man sich vielleicht schon befindet.

In manchen engeren und weniger tiefen Fahrwassern bietet ab dann noch das Loth (§ 11) einigen Anhalt, indem die Seecharten nicht nur die Tiefen, sondern auch die Beschaffenheit des Bodens angeben. Um dieses indessen mit Sicherheit benutzen zu können, darf das Schiff sich nur sehr langsam bewegen, man muß also das Segelschiff in den Wind laufen lassen, oder wenn es ein Dampfboot ist, dasselbe anhalten. Als ich im vorigen Jahre von Lissabon nach Southampton fuhr, stellte sich bei der Abfahrt von Vigo ein starker Nebel ein und dieser verließ uns während der folgenden vier Tage nicht wieder. Im Biscajischen Meerbusen war keine Gefahr, als wir aber, ohne ein Ufer gesehn, oder eine Ortsbestimmung

Nacht zu haben, in den Canal eingelaufen waren und der Nebel hier nicht wich, so blieb das Loth der einzige sichere Wegweiser und jede Stunde mußte das Dampfboot angehalten, das Loth ausgeworfen und der Boden, den es heraufbrachte, sorgfältig untersucht werden.

Wenn unter solchen Verhältnissen oder auch bei heiterer Luft, während das Besteck unsicher geworden ist, plötzlich ein Ufer sichtbar wird, so kommt es darauf an, dieses sogleich zu erkennen, um nach die weitere Fahrt im richtigen Course fortzusetzen. Die Seekarten enthalten zu diesem Zwecke eine große Anzahl von Ansichten der Ufer, wie sie von der Seeseite aus erscheinen, und sind darauf sehr vollständig alle Gegenstände angegeben, wie Geberge, Dünen, Waldungen, Windmühlen und andre höhere Gebäude, welche die einzelnen Punkte kenntlich machen und von andern unterscheiden. Auch legt der erfahrene Seemann großes Gewicht darauf, aus dem Gedächtnisse jedes Ufer sogleich zu erkennen, welches er vor sich sieht. In früherer Zeit galt diese Kenntniß (nach der Holländischen Benennung auch bei uns Landvertoonung genannt) für eines der wichtigsten Erfordernisse eines Schiffscapitans. Nichts desto weniger ist das Ansehn einer Küste doch in vielen Fällen nicht so entscheidend, daß keine Verwechselung möglich sein sollte, und namentlich ist dieses bei der weiteren Ausdehnung des Verkehrs in neuerer Zeit viel schwieriger, als es früher war, weil der Schiffer häufig in fremde Gegenden kommt, die er noch nicht gesehen hat. Aus diesem Grunde ist es nothwendig, in gewissen Entfernungen recht auffallende Bezeichnungen anzubringen, die gleich sicher erkannt und nicht mit andern verwechselt werden können. Dieses sind die sogenannten Landmarken, die man zum Unterschiede von den Leuchthürmen, die gleichfalls als solche dienen, auch Tagemarken nennt, wenn sie während der Nacht nicht erleuchtet werden. Es sind theils thurmähnliche Bauwerke von pyramidalen, cylindrischen oder anderer Form, theils nur große Pfähle, an starke Pfähle befestigt, die verschiedene einfache und zusammengesetzte Figuren darstellen.

Diese Marken sind indessen nur bei Tage sichtbar. Um die Küste während der Nacht zu bezeichnen, müssen weit reichende Lichtsignale angewendet werden. Dieses sind die Leuchthürme, und zwar die Küstenfeuer. Verschieden davon sind die Hafen-

feuer, die nur in geringeren Entfernungen sichtbar sein dürfen, und allein den Zweck haben, die Eingänge in die Häfen, oder auch vielleicht einzelne besonders enge Fahrwasser zu markiren. Jene müssen soweit tragen, daß, bevor der Schein eines Feuers verschwindet, schon das nächste sichtbar wird. Die Englische und vielleicht noch mehr die Französische Küste sind meist so vollständig erleuchtet, daß man in ihrer Nähe bei klarem Wetter wenigstens zwei und oft sogar drei Feuer gleichzeitig erblickt. Außerdem müssen sie aber auch so verschieden sein, daß man sie nicht verwechseln kann. Letzteres ist dringend nothwendig, weil ein solcher Irrthum die größte Gefahr veranlaßt. Selbst die auffallendste Verschiedenheit des Lichtes wird bei stürmischer Witterung und Regen zuweilen nicht bemerkt, weil die Feuer alsdann meist verdunkelt sind und nur ausnahmsweise während kurzer Zeit wahrgenommen werden können. Besonders geschieht dieses, wenn die Wachen den Dienst auf den Schiffen nicht mit der nöthigen Aufmerksamkeit versehen. So strandete einst nördlich von Pillau ein nach Danzig bestimmtes Schiff, weil der Capitain das Pillauer Feuer für das Helaer gehalten hatte. Ein großes Schiff zerschellte vor etwa zehn Jahren an der Französischen Küste, weil das Feuer bei Barfleur für eines am Englischen Ufer angesehen wurde.

Um die nöthigen Abwechselungen der Feuer darzustellen, hatte man im Anfange dieses Jahrhunderts vielfach gefärbtes Licht angewendet, indem die Laternen mit rothen, grünen, auch wohl noch andern Scheiben versehen waren. Es zeigte sich jedoch bald, daß das Licht hierdurch außerordentlich geschwächt wurde, und außerdem trat dabei noch der große Uebelstand ein, daß die Atmosphäre zuweilen die Farben wesentlich ändert. So nimmt z. B. das weiße Licht im Nebel die rothe Färbung an, während das grüne Licht alsdann weiß erscheint. Verwechselungen konnte daher hierdurch nicht vorgebeugt werden, im Gegentheile wurden sie sogar durch die verschiedenen Färbungen veranlaßt, und zwar geschah dieses gerade unter solchen Umständen, wo die deutliche Bezeichnung der Küsten am nothwendigsten war, weil der Nebel die unmittelbare Erkennung derselben verhinderte. Man ist deshalb von der Anwendung farbiger Scheiben und Cylinder bei Küstenfeuern meist zurückgekommen und nur die Hafenfeuer haben ziemlich allgemein ro-

es Licht erhalten, um beim Einsegeln, wobei das Schiff ihnen also schon sehr nahe ist, mit jenen nicht verwechselt zu werden.

Demnächst werden zuweilen auch zwei Leuchtthürme neben einander, oder auf einem zwei Feuer, eines über das andere stellt. Hierdurch verhindert man sehr sicher jede Verwechslung zu ändern, aber die Kosten der Einrichtung und Unterhaltung vergrößern sich dabei in hohem Maasse.

Am häufigsten unterscheidet man heutiges Tages die Feuer dadurch, daß einige fortdauernd das volle Licht um sich werfen, andere dagegen dieses nur abwechselnd thun, indem gewisse Schirme der Laterne durch Uhrwerke bewegt werden, die in bestimmten Zeiten das Licht verdecken, und es dadurch verschwinden lassen. Die verschiedenen Perioden, die man dabei wählen kann, gewähren schon eine große Anzahl von Abwechselungen, diese werden aber noch dadurch verdoppelt, daß man das Licht eben sowohl bei katoptrischen, wie bei dioptrischen Apparaten allmählig schwächen und wieder verstärken kann, und zwar läßt sich dabei noch außerdem eine neue Verschiedenheit einführen, daß das Licht entweder vollständig verschwindet, oder ein mäßiger Schein desselben während der Verfinsterung übrig bleibt.

Diese Abwechselungen sind ohne Zweifel die sichersten Unterscheidungszeichen, die man heutiges Tages darstellen kann. Der Schiffer, der mit den Nachweisungen derselben versehen ist, wird selbst bei sehr ungünstiger Witterung, sobald er eines sieht, nicht zweifelhaft sein, welches es ist. Man hört oft von unsern Schiffen die Aeußerung, daß wenn sie durch widrige Winde in der Nordsee lange aufgehalten sind, sie der Englischen Küste während der Nacht sich zu nähern wünschen, weil sie alsdann sich sogleich am sichersten orientiren. Bei heftigen Stürmen und Schnee oder Regen tritt freilich zuweilen der Fall ein, daß man nur während weniger Secunden eine freie Aussicht auf eine kleine Küstenstrecke gewinnt, und wenn man alsdann ein Feuer wahrnimmt, so bleibt es ungewiß, ob es ein festes oder ein veränderliches war. Durch angestrengte Aufmerksamkeit und vorsichtige Wahl des Curses gelingt es aber auch in diesem Falle wohl jedesmal, ehe eine wirkliche Gefahr eintritt, das Feuer sicher zu erkennen.

Die Landmarken und Leuchtthürme, von denen bisher die Rede

war, haben nur den Zweck, die Küste im Allgemeinen zu bezeichnen. Der Schiffer wird an ihnen erkennen, ob er sich in der Nähe des Hafens befindet, in den er einlaufen will, sie genügen aber keineswegs, um ihn zwischen den Sandbänken oder sonstigen Untiefen, die gemeinhin vor dem Hafen liegen, sicher in denselben hinein zu leiten. Wo solche Untiefen vorkommen, müssen dieselben besonders bezeichnet, oder das tiefe Fahrwasser in anderer Weise markiert werden, und zwar eben sowol bei Tage, wie bei Nacht, wenn nicht etwa das Letztere zu schwierig ist, und deshalb das Einlaufen während der Nacht überhaupt verboten werden muß.

Von den Hafenfeuern ist bereits bemerkt worden, daß man ihnen zur Unterscheidung von den Küstenfeuern rothes Licht zu geben pflegt. In den Französischen Häfen ist dieses allgemein üblich, in Swinemünde ist es gleichfalls seit einigen Jahren eingeführt. Diese Feuer befinden sich nur auf kleineren Leuchttürmen, weil sie nicht weit sichtbar zu sein brauchen, und letztere stehn am passendsten unmittelbar auf dem Kopfe des am weitesten vortretenden Hafendammes, so daß das Schiff, welches während der Nacht einläuft, dicht neben ihnen die Mündung des Hafens sicher treffen kann.

Um das Fahrwasser zwischen den Untiefen vor der Mündung zu bezeichnen, dienen gemeinhin die sogenannten Richtbaaken. Dieses sind hohe hölzerne Rüstungen, die noch durch daran befestigte Rahmen von verschiedener Form bezeichnet werden, damit man die vordere von der hinteren sicher unterscheiden kann. Sie werden so gestellt, daß die durch sie gezogene gerade Linie in die Mittellinie des Fahrwassers fällt. Der ankommende Schiffer trifft also das letztere, wenn er das Schiff in diese Linie bringt und es dauernd darin erhält. Zuweilen stellt man vor die beiden Richtbaaken noch eine dritte sogenannte Winkbaake, deren Ruthe mit der an der Spitze derselben befestigten großen Flagge sich nach der rechten und linken Seite neigen läßt. Diese wird namentlich gebraucht, wenn das Fahrwasser nicht ganz gerade ist, wenn also das einlaufende Schiff an einzelnen Stellen nach der rechten oder linken Seite sich von der Baakenlinie etwas entfernen muß. Die Benutzung solcher Winkbaaken wird indessen sehr bedenklich, sobald das enge und gekrümmte Fahrwasser von der Küste weit entfernt ist, weil man alsdann von dem meist niedrigen Ufer aus nicht

über beurtheilen kann, an welcher Stelle das einlaufende Schiff sich gerade befindet, und man daher nicht weiß, ob es schon Zeit ist, es Zeichen zum Ablenken aus dem Course zu geben.

Wenn man die Richtbaaken mit Laternen versieht, so bezeichnen sie auch in der Dunkelheit das Fahrwasser, und sobald es möglich ist, den Thurm, worauf das Hafenfeuer brennt, als vordere Richtbaake zu benutzen, so braucht man nur auf die hintere Laterne zu hängen. Haben die Untiefen, und folglich auch die zwischen liegenden engen Fahrwasser solche Ausdehnung, daß ihre Bezeichnung vom Ufer aus unmöglich wird, so müssen feste oder schwimmende Baaken auf oder zwischen diesen Untiefen angebracht werden, und will man dieselben auch in der Dunkelheit sichtbar machen, so bleibt nur übrig, sie entweder in Leuchtschiffe oder in kleine frei stehende Leuchtthürme zu verwandeln. In beiden Fällen müssen die Wärter sich stets darauf befinden. Diese kleinen Leuchtthürme, die in neuester Zeit mehrfach an der englischen und Französischen Küste ausgeführt sind, und nur auf eingeschrobenen eisernen Stangen ruhen, so daß sie die Wellenbewegung unter sich gar nicht behindern, verdienen wohl unbedingten Vorzug vor den Leuchtschiffen, weil letztere bei schweren Stürmen zuweilen ins Treiben kommen, auch im Winter wegen zu großer Unsicherheit in den Hafen gebracht werden müssen. Gerade in der Zeit, wo das einlaufende Schiff ihrer am meisten bedarf, sind sie also nicht am Platze, oder sie liegen vielleicht gar an einer falschen Stelle, so daß sie selbst Veranlassung geben können, daß das Schiff auf Untiefen aufläuft. Nichts desto weniger darf man jene Leuchtthürme nur anwenden, wo keine größeren Eisschollen vorbeitreiben. An der Ostsee haben sie daher nicht Eingang finden können.

Endlich wäre noch zu erwähnen, daß auch durch ein einzelnes Feuer, und zwar vom Ufer aus ein entferntes Fahrwasser noch sicher bezeichnet werden kann, vorausgesetzt, daß Letzteres nicht gar zu enge, aber ganz gerade ist. Namentlich geschieht dieses in dem Falle, wenn zu beiden Seiten desselben Klippen liegen, von denen das Schiff abgehalten werden muß. Man erbaut nämlich vor dem kleinen Leuchtthurme zwei Mauern, oder andere Wände, die das Licht verdecken, und dieses nur in dem engen freien Zwischenraume zwischen sich hindurch lassen. Das ankommende

Schiff segelt ausserhalb des gefährlichen Fahrwassers in die Linie desselben soweit ein, bis das Licht erscheint, und nunmehr wird die Richtung nach dem letzteren inne gehalten. Sollte das Licht wieder verschwinden, so ist dieses ein Zeichen, dass man das Fahrwasser verlassen hat, und es muss alsdann sogleich wieder eingelenkt und in dem beleuchteten Raume die Fahrt fortgesetzt werden. Diese Bezeichnungsart ist indessen nur in sehr wenigen Fällen angewendet worden.

Um ein enges Fahrwasser in seiner ganzen Ausdehnung mit allen Krümmungen, die es vielleicht hat, scharf zu markiren pflegt man ganz allgemein sich noch der Tonnen zu bedienen, die wegen ihrer Form auch wohl Bollen genannt werden. Es sind grosse kegelförmige Körper, aus hölzernen Stäben wie Fässer zusammengesetzt und mit dicht schliessendem Boden versehen, dass sie nicht nur schwimmen, sondern auch weit über das Wasser vorragen. In neuerer Zeit werden sie vielfach aus Eisenblech angefertigt. An der Spitze, die sich schon von selbst nach unten kehrt befindet sich eine Kette, die an einem schweren Steine befestigt ist. Letzterer liegt auf dem Grunde, und die Tonne kann sich daher nur soweit von der Stelle, wo der Stein versenkt ist, entfernen, als die Länge der Kette dieses gestattet. Bei stark wechselndem Wasserstande, also bei bedeutendem Fluthwechsel, wird die Tonne, zur Zeit des höchsten Wassers noch sichtbar bleiben muss, bei kleinem Wasser leicht weit seitwärts treiben, also nicht sicher den Rand des Fahrwassers bezeichnen. Es geschieht auch wohl, dass alsdann die Stelle, auf der sie liegt, beinahe trocken wird, und in diesem Falle ist sie grossen Beschädigungen ausgesetzt, weil sie zeitweilig von den Wellen wiederholentlich auf den Grund gestossen wird. Hiernach ist der Gebrauch der Tonnen an solchen Fahrwassern, wo Fluth und Ebbe einen starken Wechsel des Wasserstandes veranlassen, viel beschränkter, als an den Ostsee-Häfen. Ausserdem sind die Tonnen bei heftigem Seegange nicht sichtbar, und zu besonders wenn die Wellen an den Untiefen, die man bezeichnen will, stark branden. Sie sind alsdann grossentheils vom Wasser und vom Schaume überdeckt, so dass man nur ausnahmsweise und nur augenblicklich einzelne daraus hervortreten sieht. Gerade dieser Zeit, wo der Schiffer ihrer Leitung am meisten bedarf, versagen sie also den Dienst, besonders wenn sie nur kleine Dimen-

haben. Dafs sie auch in dunkeln Nächten und bei dichtem Nebel nicht wahrgenommen werden können, bedarf kaum der Erwähnung.

Damit der Schiffer über die Lage des Fahrwassers nicht in Zweifel bleibt, sobald er eine Tonne sieht, ist es allgemein üblich, die rechtseitigen anders zu färben, als die linkseitigen, und zwar sind die einen weifs und die andern schwarz angestrichen. Auf welcher Seite diese und jene liegen, ist zwar nicht von einer allgemein gültigen Regel abhängig, nichts desto weniger findet man stets jedesmal die weissen Tonnen auf derjenigen Seite, auf der die Hafenstadt liegt. Der Schiffer mufs indessen aus Erfahrung, oder aus der Beschreibung des Hafens, den er ansegelt, wissen, wie die verschiedenen Bezeichnungen der Marken gewählt sind. Um ihn darauf aufmerksam zu machen, dafs er in das engere Fahrwasser läuft, wird ausserhalb desselben und zwar in der durch die Baaken bezeichneten Linie noch eine besonders grosse Tonne, die *Ausentonne*, verlegt, deren Quadranten oder Sextanten abwechselnd schwarz und weifs angestrichen sind. Beim Ansegeln des Hafens verfolgt also der Schiffer die Baakenlinie, die er bei klarer Luft schon aus weiter Ferne sicher erkennen kann. Er trifft alsdann auf dem Wege die Ausentonne, die ihm anzeigt, dafs er sich nunmehr vor dem engern Fahrwasser befindet, und alsdann mufs er so zuvernuern, dafs die weissen Tonnen auf der einen, und die schwarzen auf der andern Seite bleiben.

Die Seetonnen haben häufig noch einen andern, ganz verschiedenen Zweck, man legt sie nämlich auch auf einzelne Untiefen ausserhalb der bezeichneten Fahrwasser, und zwar oft noch weit in die See hinein, namentlich auf hohe Sandbänke und vorzugsweise auf die am weitesten vortretenden Ecken derselben, ferner auf isolirte Klippen und auf die Wracke gestrandeter Schiffe, wenn diese nicht so tief vom Wasser bedeckt sind, dafs sie sicher überfahren werden können. In diesen Fällen werden die Tonnen, wenn sie in der Nähe der engeren Fahrwasser sich befinden, noch in anderer Weise bezeichnet, damit sie mit jenen nicht verwechselt werden können. Sie werden alsdann in andrer Farbe, also etwa roth angestrichen, und mit Fähnchen, Strauchbesen oder dergleichen versehen. Auch geschieht es, dafs man kräftige Glocken darauf anhängt, die schon bei mässiger Wellenbewegung oder auch durch die

Strömung in Schwingung versetzt werden und alsdann von selbst läuten. Namentlich werden hierdurch isolirte Klippen bezeichnet, vor denen die vorbeifahrenden Schiffe gewarnt werden sollen. Bei ruhiger See und wo keine starke Strömung statt findet, hört indessen dieses Läuten auf, und im dichten Nebel, der meist bei sehr schwachem Winde eintritt, werden die Schiffe gleichfalls nicht gewarnt und bleiben der Gefahr des Strandens ausgesetzt. Auf der Klippe Bellrock, vor der Mündung des Tay, fünf Deutsche Meilen von der östlichen Küste von Schottland entfernt, befand sich in früherer Zeit eine solche Glocke. Gegenwärtig steht darauf ein Leuchthurm, auf welchem aber auch, wie auf vielen andern, die ähnlich situirt sind, während starker Nebel in kurzen Zwischenzeiten geläutet wird.

Endlich wären noch diejenigen Signale zu erwähnen, welche dem ankommenden Schiffer die Tiefe des Fahrwassers und die Richtung des Stromes in demselben angeben. Die ersteren sind bei uns nur in solchen Häfen eingeführt, wo die Tiefe sehr mäßig ist, und es also darauf ankommt, sie genau zu kennen. Man bedient sich hierzu großer Ballons, die an zwei horizontalen Armen einer Baake angehängt werden. In dem Regierungsbezirke Stralsund sieht man sehr vielfach diese Einrichtung. Je nachdem die Kugeln am rechtseitigen oder linkseitigen Arme hängen, zeigen sie an, daß das Wasser über oder unter dem mittleren Stande sich befindet. Ihre Anzahl und die Art ihrer Befestigung, je nachdem sie nämlich neben oder unter einander hängen, bezeichnet diesen Unterschied in Füssen und Viertel-Füssen. In andern Häfen, wie früher in Pillau geschah, wurde die Tiefe des Seegattes oder des Fahrwassers zwischen den Sandablagerungen in ähnlicher Weise, jedoch in absolutem Maasse (also ohne Bezugnahme auf den mittleren Wasserstand) signalisirt.

Auch in solchen Häfen, wo ein starker Fluthwechsel statt findet, sind ähnliche Bezeichnungen vielfach eingeführt. Der Schiffer wird freilich durch die Seecharten und die Fluth Tabellen (§ 6) vollständig in den Stand gesetzt, die Wassertiefen, die er in den Fahrwassern vor den Häfen in der Zeit des Ansegelns vorfindet, sehr sicher selbst zu berechnen. Die Englischen, wie die Französischen Seecharten geben nämlich für jeden Hafen die Sohlen der Fahrwasser, und die Gründe und Felsen daneben unter und über dem

Niedrigwasser bei Springfluthen genau an, sowie auch den Fluthwechsel bei Springfluthen. Aus den Fluth tabellen kann man aber mit Sicherheit entnehmen, wie hoch das Wasser in jeder Stunde jedes Tages und in jedem einzelnen Hafen über diesem Horizonte steht. Nichts desto weniger werden dennoch meist die Wasserstände mehr oder weniger genau signalisirt. Besonders in solchen Häfen, deren Mündungen zur Zeit des Niedrigwassers gar nicht durchfahren werden können, pflegt man durch Aufbringen eines Signals oder bei Nacht durch Anzünden des Hafenfeuers den Eintritt der halben Fluth zu bezeichnen, während beim Eintritt der halben Ebbe das Feuer und das Signal wieder beseitigt werden.

Wo ein merklicher Fluthwechsel statt findet, ergiebt sich die Richtung des Stromes schon, wenn man nur weiß, ob Fluth oder Ebbe statt findet, die Zeit des Hoch- und Niedrigwassers kennt man aber aus den Fluth tabellen. Besondere Signale sind also in solchen Fällen entbehrlich. An der Ostsee verhält es sich anders, die Wasserstände und sonach auch die Strömungen sind vorzugsweise von den Winden, also von zufälligen Umständen abhängig und ändern sich oft sehr schnell. In manchen Häfen, wie zum Beispiel in Pillau, ist es üblich, durch eine Flagge auf dem Leuchthurme die Richtung des Stromes zu signalisiren. Auf der einen Seite der Gallerie ausgesteckt, bedeutet sie eingehenden, auf der andern ausgehenden Strom, und wenn sie eingezogen ist, so zeigt dieses an, daß gar keine Strömung statt findet.

Es ergiebt sich aus den vorstehenden Mittheilungen, daß es gewiß nicht leicht ist, diese verschiedenen Signale, welche in den verschiedenen Häfen keineswegs übereinstimmen, immer richtig zu deuten und falsche Auffassungen zu vermeiden. Sie sind indessen weniger für den fremden Schiffer bestimmt, der zum ersten Male den Hafen ansegelt, als vielmehr vorzugsweise für die Lootsen, die ihre Bedeutung genau kennen und sie sorgfältig beachten, um danach die Schiffe sicher einzubringen, oder vielleicht, wenn die Umstände nicht günstig sind, die Schiffe vor dem Hafen bis zum geeigneten Zeitpunkte zurückzuhalten.

Was die bauliche und sonstige technische Einrichtung dieser Signale, also namentlich der verschiedenen Leucht-Apparate betrifft, so wird davon später die Rede sein, hier sollte nur mitgetheilt werden, welche Anlagen nöthig sind, um einen Hafen, nebst seiner

Mündung und dem dahin führenden Fahrwasser sicher auffinden zu können.

Ein großer Theil dieser Seezeichen, und namentlich die schwimmenden pflegen nicht vom Hafenbaumeister, sondern von den Lootsen ausgelegt und beaufsichtigt zu werden. Besonders geschieht dieses, wenn Letztere im Staatsdienste stehen, wie in den Preussischen Häfen, mit Ausnahme der in Vorpommern belegenen, allgemein der Fall ist. Wo das Lootsen-Wesen dagegen von einzelnen Communen, oder auch als ganz freies Gewerbe betrieben wird, pflegt man die Vorschläge und Wünsche dieser Leute in Betreff der Bezeichnung des Fahrwassers doch immer zu berücksichtigen, während es ihnen auch meist gestattet ist, noch besondere Marken aufzustellen, wonach sie bei der Führung der Schiffe sich richten können. In unsern Häfen ist es üblich, daß die Lootsen den ansegelnden Schiffen entgegenfahren, wenn die Witterung es irgend erlaubt, und dieselben besetzen. Der Lootse übernimmt alsdann die Führung, und soweit Lootsenzwang besteht, muß der Schiffer denselben nicht nur an Bord nehmen, sondern ihm auch die Leitung unbedingt überlassen. Die sämtlichen oben erwähnten Seezeichen, welche sich auf das Einlaufen in den Hafen beziehen, werden alsdann vollständig benutzt und eine Verwechselung derselben, die zu Unglücksfällen führen könnte, ist kaum noch denkbar.

Zuweilen wird die Verwendung der Lootsen jedoch noch viel weiter ausgedehnt. In dem Canale zwischen England und Frankreich, so wie vor andern Englischen Küsten, kreuzen die Lootsen der verschiedenen Gesellschaften und bieten sich jedem vorbeisegelnden Schiffe an, dessen Leitung sie unter willkürlichen Forderungen nach jedem beliebigen Englischen oder fremden Hafen übernehmen. Ueber diese Einrichtung ist vielfach und selbst im Englischen Parlamente Klage geführt worden. Der ankommende Schiffer trifft bei guter Witterung zwar sehr sicher die Lootsen schon in weiter Entfernung auf offener See, im Sturme und Nebel dagegen, wenn er ihrer Hülfe am meisten bedarf, sucht er sie vergebens. Ueberträgt er aber einem derselben die Führung nach einem entfernten, also etwa nach einem Niederländischen Hafen, so übernimmt derselbe gegen hohen Lohn zwar unbedingt dieses Geschäft, aber gewöhnlich giebt sich bald zu erkennen, daß er solcher Aufgabe durchaus nicht gewachsen ist und die erforderliche Localkennt-

nifs ihm gänzlich mangelt. Auf Schiffen, die von unterrichteten Capitänen geführt, und mit den nöthigen nautischen Hilfsmitteln versehen sind, wie dieses auf den Deutschen Handelsschiffen allgemein der Fall ist, wird demnach niemals ein Lootse zu solchem Zwecke angenommen. Anders verhält es sich auf mehr beschränkten Revieren, wie zum Beispiel vor der Elbe und Weser, wo die Lootsen von Hamburg, Bremen, Helgoland und manchen Dänischen, Hannoverschen und Oldenburgischen Orten kreuzen, und hier hinreichend bekannt sind, um die Führung des Schiffes nach einem Hafen dieses Reviers zu übernehmen.

§. 31.

Das Seeschiff.

Obwohl der Schiffbau und die Schiffahrtskunde zur Wasserbaukunst nicht gehören, so muß dennoch der Hafenbaumeister beide soweit kennen, daß er das Bedürfnis der Schiffahrt zu beurtheilen im Stande ist. Einige Bekanntschaft mit diesen Gegenständen ist zwar bei längerem Aufenthalte in einem Seehafen leicht zu erwerben, aber vielfach wiederholt sich der Fall, daß Baumeister, die bisher nur an oberländischen Strömen oder Canälen beschäftigt waren, nach Seehäfen versetzt werden, oder gutachtliche Aeußerungen über Anlagen in solchen abzugeben haben, und alsdann pflegt der Mangel an Kenntniss der Seeschiffahrt sehr auffällig sich zu zeigen. Es geschieht auch leicht, daß Bauwerke für passend erachtet werden, welche den Schiffsverkehr wesentlich erschweren oder ganz unmöglich machen würden. Es dürfte daher angemessen sein, sowohl über die Construction, als über die Ausrüstung und die Manöver der Seeschiffe einige Mittheilungen zu machen.

Die verschiedenen Formen, die man dem Rumpfe des Schiffes nach Maaßgabe seiner Bestimmung und seiner Größe, sowie auch vielleicht wegen der nothwendigen Beschränkung des Tiefganges giebt, kommen hier nicht in Betracht. Es wäre nur darauf aufmerksam zu machen, daß für schnelle Fahrten die Schiffe sehr scharf gebaut sein müssen und dadurch ihre Stabilität leicht so sehr leidet, daß ohne Ballast, oder ohne Ladung sie sich nicht mehr sicher in der aufrechten Stellung erhalten können.

In dieser Beziehung müssen die Ballastplätze in Handelshäfen so angeordnet werden, daß dieselben den Ladeplätzen möglichst nahe liegen und von diesen aus in ruhigem Wasser erreicht werden können.

Man nennt diejenigen Schiffe *rank*, die wenig Stabilität haben, die sich also leicht seitwärts überneigen. Die entgegengesetzte Eigenschaft wird durch das Wort *steif* bezeichnet. Das starke Schwingen der Schiffe um ihre Längsachse nennt man das *Rollen* oder *Schlenkern*, wogegen man unter *Stampfen* das Schwingen um die Querachse versteht. Letzteres ist besonders nachtheilig, weil dabei die Masten und Stengen leicht lose werden, dieses tritt aber vorzugsweise auf Schiffen ein, die so kurz sind, daß sie bei starkem Seegange nur eine einzige Welle unter sich haben.

Die Verbindungen in der Zusammensetzung eines hölzernen Schiffsrumpfes sind von den im Landbau üblichen wesentlich verschieden. Letztere brauchen nur denjenigen Pressungen zu widerstehen, die beim Zustande der Ruhe und bei der ganz unveränderten Lage des Gebäudes eintreten können. Das Schiff dagegen neigt sich beim Wellenschlage bald seitwärts und bald nach vorn oder hinten über, es wird bald an einer und bald an der andren Stelle sehr kräftig gehoben, auch fehlt es nicht an den heftigsten Erschütterungen. Jene Verbindungen, die sich nur auf das genaue Ineinandergreifen und gegenseitiges Umfassen der Holzstücke beziehen würden daher sogleich ausspringen und sich lösen. Wenn demnach im Schiffbau allerdings auch Versatzungen, Ueberblattungen und Verkämmungen vorkommen, so wird dabei doch immer auf die möglichst geringste Schwächung der Verbandstücke Rücksicht genommen, und die ganze Verbindung beruht vorzugsweise auf der Anwendung zahlloser Bolzen. Das Schiff erhält hierdurch, einiger Elasticität unerachtet, eine so innige und solide Zusammensetzung, daß es bei zufälligem starken Anfahren gegen Brücken, Bohlwerke und andere Holz-Constructions die Balken und Pfähle der letzteren zerbricht, oder die Wände in das Ufer hineinschiebt, ohne selbst dabei beschädigt zu werden.

Das Seeschiff ist jedesmal mit einem Kiele versehen und unterscheidet sich dadurch wesentlich von dem Flussschiffe, das einen ebenen Boden hat. Der Kiel dient theils zur Darstellung eines festen Längenverbandes, indem er mit dem darüber befindlichen

Kolsem vielfach verbolzt wird, theils aber verhindert er auch, indem er unter den Schiffsboden vortritt, das gar zu starke Seitwärtstreiben des Schiffes, und leitet zugleich das Wasser, welches bei der Fahrt verdrängt wird, dem Steuer zu, wodurch dieses an Wirksamkeit gewinnt.

Sowol auf das vordere, als auf das hintere Ende des Kieles werden sehr starke Hölzer mittelst Knieestücken befestigt. Dieses sind die beiden Steven. Der Hintersteven trägt entweder unmittelbar, oder mittelst des daran angebolzten Butensteven das Ruder oder das Steuer. Er spaltet sich auch in seinem obern Theile, indem er den Spiegel einfasst, worin sich meist die Cajüte des Capitäns befindet.

Die Wände des Schiffes kann man ihrer Construction nach mit gewöhnlichen Fachwerkwänden vergleichen. Sie bestehn gleichsam aus Stielen, die auf beiden Seiten mit Bohlen verkleidet sind. Diese Stiele sind indessen eigenthümlich geformt und zusammengesetzt. In der Seemannssprache heißen sie Spanten, auch werden sie zuweilen Rippen genannt, weil sie in ihrer Verbindung mit dem Kiele, den Rippen des menschlichen Skelettes ähnlich sind. Sie stellen die Querschnitte des Schiffes dar und bedingen daher die Form desselben. Letztere wird, wie das Project sie für jede Stelle bestimmt, auf den Reißboden aufgezeichnet, und es kommt alsdann darauf an, das ganze Gebinde hiermit übereinstimmend möglichst solide aus einzelnen Holzstücken zusammenzusetzen. Ein künstliches Biegen dieser starken Hölzer kommt gewöhnlich nicht vor, noch weniger ist es aber zulässig, die nöthige Form durch starkes Ausschneiden darzustellen, weil die Holzfasern nicht durchschnitten werden dürfen. Das Spant, welches eine Curve bilden soll, deren beide Schenkel sich symmetrisch von dem Kiel bis zum Deck erheben, läßt sich daher nur aus kürzeren, krumm gewachsenen Stücken, die man mit der allgemeinen Benennung Inhölzer bezeichnet, zusammensetzen. Eine Verbindung derselben unter sich durch Verzapfung oder Ueberblattung würde indessen nicht entfernt die nöthige Festigkeit bieten. Es bleibt daher nur übrig, sie mittelst seitwärts angebrachter Laschen mit einander durch Bolzen in innigen Zusammenhang zu bringen. Zu diesem Zwecke müssen aber die Laschen möglichst weit übergreifen, sie reichen also bis an die nächstfolgenden heran, und so geschieht es, daß das ganze Spant,

vielleicht mit Ausnahme des mittleren Theiles, der auf dem Kiele ruht, aus doppelten Inhölzern zusammengesetzt wird. Erhält das Schiff einen flachen Boden, oder ist es sehr stumpf gebaut, wobei die Curven der beiden Schenkel neben dem Kiele in die horizontale Richtung übergehn. so besteht der mittlere Theil des Spantes aus einem geraden oder doch nur wenig gekrümmten Holzstücke, welches der Lieger genannt wird. Vorn und hinten, wo der Rumpf schärfer gehalten werden muß, so wie auch bei allen Spanten eines scharf gebauten Schiffes, in welchen die Seitenflächen am Kiele unter einem stumpfen und zuweilen sogar unter rechtem Winkel zusammenstoßen, muß dagegen ein Kniestück, das den verlangten Winkel bildet, oder auch wohl ein sogenanntes Piekstück gewählt werden. Letzteres ist derjenige Theil eines Stammes, der sich möglichst gleichmäßig in zwei Aeste spaltet. Die letzteren bilden die Anfänge der beiden Schenkel des Spantes. Die Stücke, die sich an sie, oder auch an jenen Lieger ansetzen, sind die sogenannten Auflanger, deren gewöhnlich mehrere übereinander gestellt werden müssen, um die beabsichtigten Curven in der natürlichen Krümmung der Holzstücke darzustellen.

Zuweilen stehn die Spanten nicht senkrecht auf dem Kiele, insofern letzterer in dem schwimmenden Schiffe keine horizontale Lage annimmt, vielmehr nach vorn ansteigt, wodurch der Widerstand im Wasser vermindert wird, theils aber pflegt man auch die Spanten nächst dem Vorsteven stark nach vorn überzuneigen, damit sie im obern Theile des Rumpfes nicht zu weite Zwischenräume zwischen sich frei lassen, auch vermindert sich gemeinhin bei dieser Stellung ihre Krümmung und sie können daher aus geraderen Holzstücken zusammengesetzt werden. Der Abstand je zweier Spannten mißt bei kleineren Schiffen 2 bis 3 Fuß, bei größeren ist er geringer, und bei den Schiffen der Kriegs-Marine pflegen die Spanten sich beinahe zu berühren. Das Holz, welches man dazu verwendet, ist bei uns ohne Ausnahme Eichenholz, doch werden in Amerika und in England auch vielfach Schiffe aus den sehr festen Hölzern der südlichen vereinigten Staaten, wie aus Mahagony oder aus Teakholz gebaut. Auch die Planken und alle sonstigen wesentlichen Theile des Rumpfes bestehn in den Ostseeschiffen aus Eichenholz. nur pflegt man den Kiel aus Buchenstämmen zusammenzusetzen. weil solche bei heftigen Stößen weniger leicht brechen, als Eichen-

Wenn die Spanten geformt und in sich verbunden sind, so legt man sie auf den Kiel auf, in den sie einige Zolle tief eingreifen und sogleich verbolzt werden, indem man sie an die bereits aufgestellten Spanten durch übergangenagelte Latten, so wie auch nach seitwärts angebrachte Streben befestigt. Der Kolsen, oder dasjenige starke Holzstück, welches in der ganzen Länge des Schiffes die Mittelstücke der Spanten und den Kiel überdeckt, wird durch die Spanten hindurch mit dem Kiele verbolzt. Eine andere Längsverbindung erhält das Schiff durch die Rahmstücke, welche die Deckbalken tragen, und gleichfalls an die Spanten gebolzt werden.

Die Querverbindung wird dagegen durch die Deckbalken dargestellt, die außerdem mittelst hölzerner oder eiserner Kniee an die Spanten befestigt werden. Bei kleineren Schiffen, die kein Zwischendeck haben, kommt nur eine Lage Deckbalken vor, sonst gibt es deren zwei auch wohl drei.

Die Spanten werden von aussen mit Planken verkleidet, und diese bilden den wasserdichten Abschluß des Schiffsraumes. Sie müssen sich flach auf die Spanten auflegen und deshalb die Krümmungen derselben annehmen. Damit sie dabei nicht brechen oder zerfallen, so werden sie vor dem Aufbringen und nachdem sie bereits vollständig zugeschnitten sind, entweder gekocht oder in Wasserdampf erhitzt. Letzteres ist vorzuziehen, weil sie dabei weniger leiden. In einen grossen hölzernen Behälter, der ziemlich dicht geschlossen ist, und der die Stove heisst, werden sie eingeschoben, während der Dampf aus einem Kessel, worin Wasser stark kocht, zwischen sie hineintritt. Nachdem sie einige Zeit darin gelegen haben, nimmt man sie heraus und bringt sie sogleich auf, indem man sie mittelst Zwingen an beiden Enden befestigt und stark anzieht. Nach dem Erkalten behalten sie die Krümmung, die man ihnen gegeben hatte. Sie werden nur stumpf an einander gelegt, doch sorgt man dafür, daß eine schwache Fuge nach aussen geöffnet bleibt, indem sie sich nur an der innern Seite unmittelbar berühren. Sie greifen in die beiden Steven, so wie auch in den Kiel ein wenig ein, und werden wieder an alle Inhölzer, die sie treffen, mittelst Bolzen und hölzernen Nägeln befestigt.

Diese Planken-Bekleidung, die selten mehr als 3 Zoll stark ist, trägt wesentlich zur innigen Verbindung der Spanten und des gan-

zen Schiffes bei. In derjenigen Höhe, wo die Spanten die größte Breite haben, wo also ein Anstoßen an andre Schiffe oder an Ufer-einfassungen am leichtesten erfolgen kann, wählt man Planken, die 2 bis 3 Zoll stärker sind, als die andern. Diese heißen die Berghölzer. Sie treten nach aufsen vor die übrigen vor. Gemeinhin liegen nur 2 Berghölzer über einander, doch werden deren zuweilen auch 4 bis 5 angewendet.

Die Fugen zwischen je zwei Planken, gemeinhin Nathen genannt, werden durch Kalfatern gedichtet und dieses geschieht auch wenn zufällig eine Planke gerissen sein sollte. Diese Nathen müssen nach aufsen etwas geöffnet sein. Man legt darüber Zöpfe von Werg, oder von aufgezupften Tauen, und treibt diese mit dem Kalfateisen unter starken Hammerschlägen fest ein. Das Kalfateisen ist ein sehr breites und stumpfes Stemmeisen, das also jenen Zopf nicht durchschneidet, sondern ihn in die Fuge drängt. Letztere darf indessen nicht vollständig gefüllt werden, sie muß vielmehr noch etwa einen halben Zoll tief offen bleiben und diesen Raum füllt man mit stark erwärmtem und daher noch dünn flüssigem Pech an. Letzteres geschieht so vollständig, daß das Pech über die Schiffswand vorragt, auch bei dem unvermeidlichen Ueberfließen dieselbe vielfach bedeckt. Mit dem Kratzeisen, welches aus einer dreieckigen, ringsumher zugeschärften Stahlscheibe besteht, in deren Mitte ein Stift sich befindet, woran der hölzerne Stiel befestigt wird, wird später die ebene Fläche durch anhaltendes Schaben wieder dargestellt. In dieser Art läßt sich, nachdem der Anstrich mit Oelfarbe oder auch wohl nur mit Theer erfolgt ist, keine Fuge mehr erkennen.

Die Bolzen, von denen vielfach die Rede gewesen ist, bestehen aus cylindrisch gewalzten Eisenstangen, die meist auf der Baustelle selbst in die erforderlichen Längen zerschnitten werden. Gleichzeitig pflegt man sie an demjenigen Ende, mit dem sie in das Holz eindringen sollen, durch einige starke Hammerschläge etwas zu verjüngen, damit sie um so leichter das vorgebohrte Loch fassen. Das Loch muß jedesmal einen etwas geringeren Durchmesser, als der Bolzen haben, weil letzterer sonst nicht gehörig darin haften würde, doch darf der Unterschied auch nicht zu groß sein, weil alsdann die Holzstücke spalten könnten. Wo es darauf ankommt, besonders sichere Verbindungen darzustellen, wie etwa an den Enden der

Hölzer, versieht man die Bolzen auch mit Köpfen an den äußern Enden, und mit Oeffnungen an den innern Enden, durch letztere wird dann über einer Unterlagsscheibe jedesmal ein Splint hindurchgefahren. Die übrigen Bolzen erhalten jedoch keine Köpfe und gewähren auch ohne solche den Hölzern hinreichende Haltung, unter den kräftigen Schlägen, wodurch sie eingetrieben werden, das Eisen sich etwas umlegt und dadurch ein schwacher Pfahl gebildet wird.

Auf die innere Seite der Spanten wird gleichfalls ein Bohlenlag aufgebracht, der die Wegerung heisst. Derselbe verhindert theils, dass die losen Güter, wie etwa Salz oder Getreide, zwischen die Spanten fallen, vorzugsweise dient er aber dazu, den Zwischenraum zwischen der äussern und innern Verkleidung immer frei zu erhalten, damit sich hier das Leckwasser sammeln kann, das mittelst einer Pumpe, die bis auf den Kiel herabreicht, so oft es nöthig ist, entfernt wird. Damit diese alles Sammelwasser aufnimmt, muss durch gewisse Oeffnungen in den Spanten dafür gesorgt werden, dass dasselbe aus der ganzen Länge des Schiffes hier ungehindert zufließen kann. Man pflegt indessen die Wegerung nicht vollständig zu befestigen, vielmehr einen grossen Theil der Planken nur lose einzulegen, die so oft es irgend geschehn kann, ausgehoben werden, damit die Luft freien Zutritt zu den Inhölzern findet und das Stocken derselben verhindert.

Ueber das Deck, das gewöhnlich aus Kiefern-Planken besteht, und gleichfalls gedichtet werden muss, um das aufschlagende Wasser nicht eindringen zu lassen, so wie auch über den sonstigen Ausbau des Schiffsrumpfes wäre nichts zu erinnern, und es bleibt nur zu erwähnen, dass an verschiedenen Stellen und namentlich an beiden Seiten des Vorder- und des Hintertheiles mehrere mit den Spanten fest verbundene Holzstücke über das Deck treten, die vorzugsweise zur Befestigung des Schiffes an die Schiffshalter im Hafen oder an andre Fahrzeuge dienen. Man nennt sie Poller. Zuweilen bestehn sie aus gusseisernen Cylindern, die auf dem Schanndeck, oder dem starken Holze befestigt sind, das einem Rahmstücke einer gewöhnlichen Fachwand ähnlich, die Köpfe der Inhölzer und zugleich die Planken überdeckt.

Auf die Construction der eisernen Schiffe braucht hier nicht eingegangen zu werden, da dieselbe sich an den Holzbau anschliesst.

und es nur darauf ankam, die Zusammensetzung im Allgemeinen zu bezeichnen. Eben so wenig braucht von den Dampfböten die Rede zu sein, die bei ungünstigen Winden viel leichter einen Hafen anlaufen, oder daraus ausgehn können, als die Segelschiffe, und außerdem noch den grossen Vortheil bieten, daß sie in voller Fahrt sehr schnell angehalten werden können, indem man die Ruderräder oder die Schraube zurückschlagen läßt. Bei der Anordnung eines Hafens nebst seiner Mündung ist daher das Bedürfnis der Segelschiffahrt maassgebend, und wenn diesem genügt wird, so finden daselbst auch die Dampfböte kein Hindernis.

Damit das Schiff den Wind in grossen Flächen auffängt und von demselben den kräftigen Druck erfährt, der zu seiner schnellen Bewegung erforderlich ist, so muß es mit hinreichend hohen und weit von einander entfernten Stützpunkten versehen werden, woran die Segel zu befestigen sind. Zu diesem Zwecke erhält das Schiff einen oder mehrere Maste, und ausserdem bildet man durch einen schrägen Baum, der über den Vordersteven hinaustritt, noch vor dem Schiffskörper gewisse Stützpunkte für die Segel.

Der Mast, bestehend aus einem geraden und gesunden Kiefernstamme, steht mit seinem Fusse in einem kistenartigen Aufbau über dem Kolsem. Man nennt denselben die Spur, und er überträgt den Seitendruck auf die nächsten Spanten. Hätte man die Spur nur durch Ausarbeiten einer angemessenen Vertiefung in dem Kolsem selbst dargestellt, so würde letzterer, der ein sehr wichtiges Verbandstück bildet, theils an sich geschwächt, theils aber auch der Gefahr ausgesetzt sein, daß bei starkem Seitendrucke die Wangen abspalten. Das obere Ende des Mastes wird vorzugsweise an jeder Seite durch mehrere starke Taue, die sogenannten Wanten, gehalten, wozwischen schwächere Taue eingebunden sind, die als Sprossen einer Leiter beim Ersteigen des Mastes benutzt werden. Diese Wanten sind mittelst gewisser Verbindungsstücke, die man Rusten oder Puttings nennt, an der äussern Seite der Berghölzer befestigt, sie befinden sich aber etwas hinter dem Maste, so daß sie den letzteren nicht allein in der Querrichtung des Schiffes halten, sondern zugleich sein Ueberneigen nach vorn verhindern. Der Mast bedarf sonach nur noch eines kräftigen Zuges nach vorn, um in allen Richtungen unterstützt zu sein, und diesen erhält er durch ein starkes Tau, welches das Stag genannt wird. Letzteres ist entweder am

opfe des Vordersteven, oder wenn das Schiff noch einen dritten Mast trägt, auch am Fusse des mittleren Mastes befestigt.

Die Aufstellung und hinreichend sichere Befestigung der Masten würde indessen bei grossen Schiffen übermässig erschwert werden, wenn dieselben jedesmal aus einem einzigen Stamme beständen. Man setzt sie daher aus zwei, und den vollen Mast sogar aus drei Stücken zusammen. Ohnfern des obern Endes des untern Stückes, von dem bisher allein die Rede war, und welches im Gegensatz zu den obern Stücken wieder der Mast heisst, bringt man eine sehr solide Verzimmerung an, welche einen Rahmen bildet und die Mars genannt wird. Sie dehnt sich nach beiden Seiten des Schiffes bedeutend aus, wo sie durch die verlängerten Wanten gehalten wird. Sie hat aber unmittelbar vor dem Maste eine angemessene Oeffnung, in welche der Fuss der Fortsetzung des Mastes hineinpaßt. Auf den Kopf des Mastes wird dagegen ein starkes Holzstück gesetzt, das Eselshaupt genannt, das an der vordern Seite gleichfalls mit einer Oeffnung versehen ist. In diese beide Oeffnungen stellt man die Fortsetzung des Mastes oder die Stenge ein, und windet sie auf, worauf sie mittelst eines Durchsteckriegels über der Mars befestigt wird. Die Sicherung derselben erfolgt nun genau in gleicher Weise, wie die des Mastes. Die Wanten gehen ebenfalls von der Mars aus, während das Stag entweder nach der Mars des davor stehenden Mastes oder nach dem bereits erwähnten Baume, der schräge über den Vordersteven hinausreicht, gezogen ist. Der dritte oder der oberste Theil des Mastes, der die Bramstenge heisst, wird in ganz gleicher Weise an die Stenge, wie diese an den Mast befestigt.

Diese Zusammensetzung, die sich leicht lösen läßt, gewährt den sehr bedeutenden Vortheil, daß man bei starkem Seegange und heftigem Sturme das Schiff wesentlich erleichtern kann, wenn man die Bramstengen herabläßt, und sonach diejenigen Massen, welche vom Schwerpunkte am weitesten entfernt waren, demselben etwas näher bringt. Besonders wenn das Schiff in hohem Seegange ankert, ist diese Vorsicht von der grössten Bedeutung.

Noch müssen einige andre Benennungen erwähnt werden. Der mittlere Mast, der jedesmal der höchste ist, und dem Schwerpunkte des Schiffes am nächsten steht, heisst der grosse Mast und seine Verlängerungen die grosse Stenge und die grosse Bramstenge.

Der davor stehende Mast ist der Fock-Mast, mit der Vorstenge und der Vor-Bramstenge. Diese Benennungen werden auch gebraucht, wenn das Schiff nur zwei Masten führt, kommt dagegen noch ein dritter hinzu, welcher jedesmal der hintere ist, so nennt man diesen den Besahn-Mast, und seine Fortsetzungen die Kreuzstenge und die Kreuz-Bramstenge.

Den Masten sehr ähnlich ist der Baum zusammengesetzt, der mit einer Neigung von etwa 30 Graden gegen den Horizont über den Vordersteven hinaustritt. Der erste Theil desselben, der mit dem Schiffskörper unmittelbar verbunden ist, heisst das Bugspriet, das durch starke Taue sowol seitwärts gegen die Berghölzer, als auch abwärts gegen den Vordersteven befestigt ist, und außerdem durch das Stag der vorderen Stengen gehalten wird. Unter dem Bugspriet an dem Vordersteven ist noch das Galion angebracht. Dieses ist ein mit Netzen versehener Rahmen, der zum Niederlegen von Segeln benutzt und häufig noch mit Sculpturen geziert wird. In gleicher Weise, wie der Mast sich durch die Stenge verlängert, so geschieht dieses auch bei dem Bugspriet durch den Klüverbaum, der also den vordersten Stützpunkt für die Segel bildet.

Dasjenige Fahrzeug, welches drei volle Masten führt, nennt der Seemann ein Schiff, fehlt dem dritten Maste dagegen die Bramstenge, so ist es eine Bark. Zwei volle Masten charakterisiren die Brigg. Die sonstigen Benennungen, die sich theils auf die verschiedenen Segel beziehen, theils aber auch in den Ostsee- und Nordsee-Häfen vielfach von einander abweichen, dürfen hier umgangen werden.

Mögen die Segel dreiseitig oder vierseitig sein, so ist jedes an der oberen, oder an der vorderen Seite, zuweilen auch an beiden gegen Bäume oder gegen starke und steif gespannte Taue befestigt, während ihre unteren oder hinteren Ecken durch Taue angezogen, und in diejenige Stellung gebracht werden, welche der Bewegung des Schiffes und der Richtung des Windes entspricht. Es sollen hier nur die verschiedenen Arten der Segel im Allgemeinen bezeichnet werden.

Das Raasegel bildet gemeinhin ein Parallelogramm, zuweilen ist aber auch die untere Seite breiter, als die obere. Es ist an den horizontalen Segelstangen oder an Raacn befestigt. Letztere bestehen aus starken, an beiden Enden gleichmässig verjüngten Bäu-

den, die in ihrer Mitte von den Masten und Stengen getragen werden. Unter jedem Mars befindet sich eine Raa, eine oder zwei derselben sind aber außerdem an den Bramstengen angebracht. Die an denselben befestigten Segel werden, wenn sie benutzt werden sollen, herabgelassen und mit den beiden untern Ecken gegen die darunter befindlichen Raaen steif angeholt. Die Tauen des unteren Segels werden dagegen an die Relinge oder die Säulen gesunden, welche die Brüstung rings um das Deck bilden. In dieser Weise wird das ganze Segelsystem des vollen Mastes fest gespannt, und um demselben die passende Richtung zu geben, werden die Enden der sämtlichen Raaen durch die zugehörigen Schoten oder Flaschenzüge angezogen oder nachgelassen. Dieses Verstellen der Segel erfolgt vom Decke aus, so daß dabei das Besteigen der Takelage nicht nöthig ist.

Dergleichen Raasegel werden bei günstigem Winde auch am Baggspriet und Klüverbaum angebracht. Die an den Masten und an den Stengen befindlichen Segel dieser Art lassen sich aber noch dadurch verbreiten, daß mit jeder Raa noch zwei Segelstangen verbunden sind, die bei schwachem Winde ausgeschoben werden können, und woran alsdann die sogenannten Leesegele angeschlagen werden.

Die Stagsegel sind von dreieckiger Form. An ihrer längsten Seite sind in geringen Abständen Ringe angebracht, welche das Stag umfassen, die gegenüber befindliche Ecke wird mittelst einer Schote soweit angeholt, wie die Richtung des Windes dieses fordert.

Das Gaffelsegel ist von der Form eines Trapezes, und zuweilen sind auch seine beiden langen Seiten nicht parallel zu einander. Mit der kürzeren von diesen beiden langen Seiten ist es mittelst eines vielfach umschlungenen Tauges am Maste befestigt, während seine obere Seite, die vom Maste aus schräge ansteigt, an einen Baum, der die Gaffel heißt, angeschlagen ist. Letztere stützt sich mit einem mondformig eingeschnittenen Ansätze, der den Mast umfaßt, gegen denselben, und die vierte Ecke des Segels wird durch eine Schote gehalten.

Wenn bei diesem Segel noch die untere Seite an einem Baume befestigt ist, wodurch es in größere Spannung versetzt wird, so nennt man es ein Baumsegel. Aehnlich demselben, jedoch vor-

zugweise nur bei kleineren Fahrzeugen üblich, ist das Sprietsegel, das gleichfalls von viereckiger Form und mit einer seiner langen Seiten am Maste befestigt ist. Die zweite obere Ecke wird bei demselben durch einen schrägen Baum, der das Spriet heisst, unterstützt. Letzterer ist mit dem Segel nicht weiter verbunden, setzt sich aber in der Diagonale desselben bis an den Mast fort, wo er mit einem gabelförmigen Einschnitte in der Schlinge eines um den Mast gewundenen Taues steht. Durch die an der vierten Ecke befestigte Schote wird dieses Segel dem Winde entsprechend eingestellt. Dasselbe ist besonders insofern sehr bequem, als es sogleich ausser Thätigkeit kommt, wenn man nur mittelst eines Taues, das über eine Rolle am Maste geführt ist, das Spriet an den Mast hebt.

Auf jedem Fahrzeuge und selbst auf kleinen Böten pflegen verschiedene der erwähnten Segel vorzukommen, dagegen giebt es noch eine Art derselben, die immer allein auftritt, und die Verbindung mit andern auch insofern nicht gestattet, als ihre Eigenthümlichkeit und ihr Werth gerade darauf beruht, daß sie keines hohen Mastes bedarf. Statt desselben befindet sich nur ein niedriger Baum an seiner Stelle, dessen Länge oft nur dem vierten Theile der Länge des Bootes gleich ist. Die Segelstange ist dagegen eben so lang wie das Boot, und indem sie mit dem einen Ende am Vordersteven befestigt, ohnfern desselben aber bis an den Kopf jenes Baumes gehoben wird, so erhebt sich das daran angeschlagene dreieckige Segel mit seinem hintern Ende bis zu einer viel grösseren Höhe und fängt daher mit einer weit ausgedehnten Fläche den Wind auf. Man nennt dieses das Lateinische oder das Romansegel. Es ist vorzugsweise auf dem mittelländischen Meere, aber doch immer nur bei kleineren Fahrzeugen üblich, wenn auch oft zwei solche Segel hinter einander aufgestellt werden. Bei den heftigen Stürmen, die in dortiger Gegend oft plötzlich auftreten, bietet es nicht nur den grossen Vortheil, daß es schnell niedergelassen werden kann, sondern es wird dabei auch der hohe Mast entbehrlich, der im heftigen Sturme und Wellenschlage leicht das Kentern oder Umschlagen des Bootes veranlassen könnte.

Bei mässigem Winde werden, um denselben möglichst zu benutzen, bis zur Spitze der Bramstengen alle Segel beigesetzt, bei heftigem Winde müssen jedoch die obern entfernt werden, weil sonst die Masten abbrechen könnten, oder auch wohl das Schiff sich zu

sehr auf die Seite legt. Bei Stürmen führt das Schiff dagegen nur Untersegel und selbst diese werden zuweilen noch bedeutend verkleinert oder gereeft. Man rollt alsdann die untern Theile der Segel zusammen, und um dieselben sicher befestigen zu können, sind in drei Reihen übereinander kurze Leinen, die man Reefe nennt, befestigt. Noch im Anfange dieses Jahrhunderts war es üblich, selbst während des schönsten Wetters bei Untergang der Sonne ein Reef einzuschlagen.

Nachdem die verschiedenen Segel beschrieben sind, dürfte es angemessen sein, die Wirkung derselben noch zu erörtern, und dieses erscheint um so nöthiger, als beim Einlaufen und Ausfahren in oder aus dem Hafen vorzugsweise die Frage in Betracht kommt, welche Richtung das Schiff bei gewissen Winden noch verfolgen kann.

Segelt das Schiff, vor dem Winde oder fällt die Richtung desselben nahe mit der des Windes zusammen, so bedarf es keiner weitem Erklärung, in welcher Art es von dem letzteren in Bewegung gesetzt wird. Es verfolgt diese Richtung alsdann auch wirklich, ohne seitwärts abzutreiben, wenn es nicht vielleicht von starken Strömungen getroffen wird. Bei dieser Richtung des Windes werden alle Raasegel normal gegen die Längenachse des Schiffes gestellt, auch die Stagsegel, Gaffelsegel oder andre läßt man an den Schoten soweit abtreiben, daß sie dieselbe Richtung annehmen. Hierbei wäre nur darauf aufmerksam zu machen, daß namentlich die oberen Raasegel den Vordertheil des Schiffes stark herabdrücken, und dadurch seine Bewegung verzögern, auch sonstige Unfälle veranlassen können. Die Stagsegel, welche eine gegen den Horizont geneigte Fläche darstellen, heben dagegen den Vordertheil des Schiffes, wenn sie vom Winde vollständig getroffen werden.

Bewegt sich das Schiff in einer Richtung, die von der des Windes um einen rechten Winkel verschieden ist, so sagt man, es segelt bei dem Winde. Es geht indessen bei angemessener Stellung der Segel noch voran, wenn auch der Wind ihm schon entgegen kommt, und selbst Schiffe, die zum schnellen Segeln nicht eingerichtet sind, können noch auf 6 Striche am Winde liegen oder in einer Richtung fahren, die $67\frac{1}{2}$ Grade von derjenigen abweicht, aus der der Wind kommt. Schnellsegler laufen dagegen soweit in den Wind, daß sie nur 4 Striche oder 45 Grade von der Richtung des-

selben entfernt bleiben. Wenn die Schiffe abwechselnd in der einen und der andern Richtung hart am Winde liegen, so beschreiben sie einen Weg, der zwar im Zickzack läuft, der sie aber gerade gegen den Wind führt. Dieses Manöver nennt man laviren, und der einzelne Theil dieses Weges heißt ein Schlag.

Das Wort Strich, das im Seewesen allgemein eingeführt ist, bezieht sich auf die Eintheilung der Windrose, also des Vollkreises, in 32 gleiche Theile (Striche), und diese entsprechen den üblichen Bezeichnungen der Himmelsgegenden, nämlich: Nord, Nord zum Ost, Nord-Nordost, Nordost zum Nord, Nordost, Nordost zum Ost und so weiter. 1 Strich ist also gleich $11\frac{1}{2}$ Graden.

In welcher Weise der Wind auf die Segel wirkt, wenn das Schiff bei dem Winde und selbst am Winde segelt, ergibt sich leicht, wenn man die Kraft, die der Wind gegen das Segel ausübt, zerlegt. AB in Fig. 93 sei das Schiff und es bewege sich in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung, während CG die Richtung des Windes ist. Letzterer trifft das Segel EG sehr schräge. Wenn die Linie DG die Kraft des Windes bezeichnet, so wird nur ein Theil derselben, nämlich DE das Segel normal treffen, während die andre Componente EG parallel zum Segel gerichtet ist, also ohne Wirkung bleibt. Zerlegt man jene Kraft DE nochmals, nämlich nach der Richtung der Längenachse des Schiffes und senkrecht darauf, so wird die Kraft FE das Schiff vorwärts und die Kraft DF dasselbe seitwärts treiben. Letztere ist in diesem Falle zwar bedeutend größer, als erstere, aber bei der großen Länge des Schiffes und seinem verhältnißmäßig nur kleinen Querschnitte ist der Widerstand, den es der ersten Bewegung entgegensetzt, viel geringer, als derjenige, den die letztere erfährt, und sonach erfolgt die Bewegung vorzugsweise nach vorn und nur in geringem Maasse nach der Seite.

AH sei der Weg, den das Schiff in einer gewissen Zeit in der Richtung seiner Achse zurücklegt, und während derselben Zeit werde es um die Linie HJ seitwärts getrieben. Es bewegt sich alsdann nicht in der Richtung AH , sondern in AJ . Den Winkel, um welchen beide Richtungen von einander abweichen, nennt man die Abtrift. Man kann denselben auf offener See sehr leicht bestimmen, indem man vom Heck, oder von dem Hinterdeck aus den Winkel mißt.

in das Kielwasser gegen die Längsachse des Schiffes macht. Das am Schiffe verdrängte Wasser, schlägt nämlich hinter dem Hintersteven wieder zusammen und hier entsteht ein sehr auffallendes Kräneln und Aufwallen, das noch längere Zeit hindurch die Stelle kenntlich macht, durch welche der Hintersteven gegangen war. Auf solche Art zeichnet sich hinter dem Schiffe eine auffallende Linie in der Oberfläche des Wassers, die der Seemann das Kielwasser oder den Sog nennt.

Bei dem Auftragen des Curses muß die Abtrift gewöhnlich berücksichtigt werden, weil man sonst den Ort, wo das Schiff sich wirklich befindet, nicht richtig angeben würde. Sie ist, selbst wenn das Schiff bei dem Winde segelt, oder derselbe die Längsachse unter einem rechten Winkel schneidet, gemeinhin sehr geringe, und liegt daher nicht berücksichtigt zu werden, so lange in diesem Falle die See ruhig und der Wind so schwach ist, daß alle Segel beigelegt werden können. Dagegen wächst sie, wenn das Schiff hart am Winde liegt und besonders, wenn es alsdann wegen der Stärke desselben oder wegen des heftigen Seeganges nur wenig Segel führen kann, bis auf 4 Strich oder einen halben Quadranten. Bei kleinen Böten tritt diese starke Abtrift schon bei mäßigem Wellenschlage ein, weil jede anlaufende Welle mehr oder weniger und oft vollständig die Fahrt unterbricht, und das Boot alsdann nur der unmittelbaren Einwirkung des Windes ausgesetzt bleibt. Wenn daher in diesem Falle das Fahrzeug während des Lavirens auch hart am Winde liegt, ohne daß die Segel flattern, so ist es dennoch unmöglich, gegen den Wind aufzukommen. Nachdem man zwei weite Schläge gemacht hat, befindet man sich oft nur an derselben Stelle, wo man vorher schon war. Dieser Uebelstand verschwindet, sobald das Boot größere Masse hat oder durch Ballast stark beschwert ist, weil alsdann die Wirkung der einzelnen Wellen auf dasselbe sich abschwächt. Die Anwendung von schwerem Ballaste ist jedoch bei offenen Böten oder solchen, die kein Deck haben, nicht zulässig, weil sie beim Einschlagen der Wellen sich gleich mit Wasser füllen und alsdann versinken. Unglücksfälle dieser Art wiederholen sich sehr häufig. Hat man dagegen das Boot nicht beballastet, so kann es zwar auch durch die Wellen ganz gefüllt werden und kentern, aber es schwimmt alsdann doch auf dem Wasser und

die darin befindliche Mannschaft kann sich daran halten, wodurch ihre Rettung wesentlich erleichtert wird.

Es giebt noch eine andre Ursache, wodurch das Aufsegeln gegen den Wind, wenn auch nicht in gleichem Grade, doch immer sehr merklich erschwert wird. Die Richtung, in welcher der Wind das in der Fahrt begriffene Schiff trifft, ist nämlich eine andre und zwar eine noch mehr conträre, als diejenige, in welcher er es treffen würde, wenn es sich nicht bewegte. Nach Fig. 94 sei wieder BA die Richtung, in der das Schiff sich bewegt, und DB diejenige des Windes. DB sei zugleich der Weg, den ein Lufttheilchen, oder den der Wind in einer gewissen Zeit, also etwa in einer Secunde zurücklegt. Zerlegt man diese Geschwindigkeit nach der Richtung der Bewegung des Schiffes und der darauf senkrechten, so sind AB und DA die Geschwindigkeiten in beiden Richtungen. Bezeichnet nun BC den von dem Schiffe in derselben Zeit zurückgelegten Weg oder die Geschwindigkeit desselben, so ist die relative Geschwindigkeit des Windes in der Richtung der Bewegung des Schiffes nicht mehr AB , sondern $AB + BC$ oder gleich AE . Die normal dagegen gerichtete Geschwindigkeit bleibt unverändert, und der Wind trifft das in der Fahrt begriffene Schiff unter dem Winkel DEA , während dasselbe bei gleicher Richtung in der Ruhe unter dem Winkel DBA getroffen sein würde. Jener ist aber noch spitzer, als dieser, woher er auch noch weniger günstig ist. Der an den Top des Mastes oder sonst irgendwo befestigte Wimpel oder Flegel zeigt diese Verschiedenheit sehr auffallend, wenn man seine Stellung mit dem Flegel eines vor Anker liegenden Schiffes vergleicht. Die Flegel der beiden Schiffe stehn alsdann nicht parallel. Derjenige, der auf dem ankernden Fahrzeuge angebracht ist, zeigt die wirkliche Richtung des Windes an, der in der Fahrt begriffene dagegen die relative Richtung, und beide sind oft sehr verschieden.

Die Segel dienen keineswegs nur zur Fortbewegung eines Fahrzeuges, sondern ausserdem hängt von ihnen auch die Richtung ab, in die dasselbe sich stellt. Sie unterstützen daher sehr wesentlich die Steuerung, und mit dem Steuer allein kann man das Schiff nicht stark wenden, vielmehr ist dieses nur möglich, wenn gleichzeitig auch die Segel verstellt werden. Das Steuer, welches der

Seemann das Ruder nennt,*) hat bei Seeschiffen nur eine sehr geringe Länge, wenn man diese mit derjenigen vergleicht, die man ihm bei Flussschiffen zu geben pflegt. Diese Länge ist gemeinhin nur dem zwölften Theile der größten Breite des Schiffes gleich, seine Wirkung bleibt daher vergleichungsweise auch nur sehr geringe, aber man darf diese nicht durch Verlängerung des Ruders verstärken, weil eines Theils die Handhabung des letzteren schon eine große Kraft in Anspruch nimmt, zu deren Darstellung sehr verschiedene mechanische Vorrichtungen angewendet werden, die aber dennoch häufig nicht genügen, um es durch einen einzigen Mann führen zu lassen. Sodann aber bleibt das Ruder selbst bei dieser geringen Länge schon derjenige Theil des Schiffskörpers, der den größten Beschädigungen beim Wellenschlage ausgesetzt und oft abgebrochen oder ausgehoben wird. Viele Schiffe führen daher zum Ersatz für solchen Fall ein fertiges Reserve-Ruder mit sich, und der Schiffszimmermann an Bord muß, wenn dieses nicht vorgesehn ist, aus allen irgend entbehrlichen Hölzern ein neues schnellig zusammensetzen, wenn das erste fortgetrieben oder zerschlagen ist.

Die Wirksamkeit des Steuers ist leicht erklärlich, wenn man die darauf wirkenden Kräfte wieder zerlegt. Das Schiff bewege sich nach Fig. 95 in der Richtung BA , das ruhende Wasser zur Seite trifft daher das schräge gestellte Ruder BG . Den Druck ED , den es darauf ausübt, zerlege man parallel und normal zur Richtung des Ruders. Der erste verschwindet, der letzte ist gleich EB . Zerlegt man diesen wieder in zwei andre Pressungen, die parallel und normal zur Längsachse des Schiffes gerichtet sind, so stellt EF die Kraft dar, welche das Schiff in dem Punkte D dreht. Diese Kraft ist gleich

$$\frac{1}{2} p \sin 2 \varphi$$

wenn man den Druck des vom Steuer getroffenen Wassers mit p , und den Winkel, welchen das Ruder gegen die Längsachse des Schiffes macht, mit φ bezeichnet. Bei näherer Untersuchung der Verhältnisse muß noch darauf Rücksicht genommen werden, daß die Größe p auch von dem Winkel φ abhängig ist, hier sollte aber nur darauf hingewiesen werden, daß aus dieser einfachen Betrachtung

*) Die Ruder, die zur Bewegung eines Bootes benutzt werden, heißen Riem en.

tung sich schon ergibt, daß das Schiff gar nicht mehr gedreht wird, sobald man das Steuer in einen rechten Winkel stellt, oder wenn $\varphi = \frac{1}{2}\pi$ wird. Nur der unmittelbare Stoß würde alsdann noch wirksam bleiben, dieser ist aber in Bezug auf die Drehung ganz unbedeutend, weil er bei Berücksichtigung des Schwerpunktes des Schiffes nur auf einen sehr kurzen Hebelsarm wirkt. Es ergibt sich hieraus, daß das Ruder niemals aus seiner geraden Lage weit entfernt werden darf, und gemeinhin sind die erwähnten mechanischen Vorrichtungen auch so angeordnet, daß der Winkel φ im Maximum nur gleich 35 Graden werden kann.

Hieraus ergibt sich noch eine andre wichtige Schlussfolge, daß nämlich der Effect des Ruders dem Drucke p entspricht, dieser ist aber ungefähr dem Quadrate der relativen Geschwindigkeit des gegen stoßenden Wassers, oder dem Quadrate der Geschwindigkeit des Schiffes proportional. Bei schwacher Fahrt wirkt also das Ruder, besonders wenn es so klein ist, wie beim Seeschiffe, nur sehr wenig, und die Wirkung desselben hört, wie bekannt, ganz auf, sobald die relative Geschwindigkeit des Wassers gegen das Steuer gleich Null wird, also wenn das Schiff in stehendem Wasser still liegt, oder wenn es mit gleicher Geschwindigkeit im strömenden Wasser treibt.

Um an einem Beispiele zu zeigen, in welcher Weise die Segel benutzt werden, um ein Schiff zu wenden, mögen die sehr einfachen Segel eines kleinen Bootes gewählt werden. Das Manöver auf großen Schiffen, obwohl viel complicirter, stimmt dennoch im Wesentlichen hiermit überein, und der Hafenbaumeister muß außerdem sein Segelboot auch selbst zu führen verstehen, woher dieses Beispiel sich vorzugsweise hier empfehlen dürfte.

Fig. 96 zeigt das Boot mit den gewöhnlichen Segeln, nämlich mit zwei Stag- und einem Sprietsegel. Das Stagsegel B neben dem Maste heißt bei kleinen Böten die Stagfock, und das vordere C am Klüverbaum befestigte die Klüfock. Das vierseitige Segel A ist durch den Spriet unterstützt, den die Figur gleichfalls zeigt. Alle drei Segel sind in der Art durch ihre Schoten gestellt, wie dieses die Richtung des Windes fordert, und sie bilden ungefähr parallele Flächen. Fig. 97 ist die Ansicht von oben und DE bezeichnet die Richtung des Windes, das Boot segelt also hart am Winde, der es von der rechten Seite trifft. Will man nun beim Laviren wen-

man oder das Boot so stellen, daß es auf der linken Seite vom Winde getroffen wird, aber wieder so hart wie thunlich gegen denselben läuft, so sorgt man zunächst dafür, daß es recht starke Fahrt hat, so das Ruder recht wirksam wird. Zu diesem Zwecke läßt man etwas vom Winde abfallen, das heisst, man dreht das Ruder so, daß der Wind die Segel voller trifft. Nunmehr wird die Schote der Klüflock gelöst, so daß diese sich in die Richtung des Windes stellt, oder von demselben nicht mehr getroffen wird. Dadurch hebt man das Gleichgewicht zwischen den Vorder- und Hintersegeln auf, indem die letzteren alsdann stärker gedrückt werden, als jene, dreht schon der Wind das Boot so, daß dasselbe sich der Richtung des letzteren nähert. Diese Wendung muß durch das Ruder möglichst unterstützt werden und hierdurch gelingt es auch meist, das Boot durch den Wind zu drehen. Sollte dieses aber, wie bei stärkerem Wellenschlage oft geschieht, nicht gelingen, so daß also das Boot, ehe es gedreht hat, zum Stillstande kommt, und dadurch das Ruder unwirksam wird, so giebt es noch ein sehr kräftiges Mittel, die Wendung zu vollenden. Dieses bietet die Stagflock. Wenn dieselbe nämlich in ihrer bisherigen Stellung gehalten wird, so bildet sie, sobald das Boot sich in die Richtung des Windes stellt, eine große Fläche, die in derselben Weise vom Winde, wie das Steuerboot dagegen stoßenden Wasser seitwärts gedrängt wird und daher das Boot weiter dreht, bis dieses entschieden von der andern Seite getroffen wird. Hierauf werden alle Segel in diejenige Richtung gestellt, welche Fig. 97 in den punktirten Linien angiebt.

Bei größeren Schiffen, welche mehr Segel führen, ist das ähnliche Manöver bedeutend ausgedehnter, es gelingt indessen gewöhnlich viel sicherer, weil bei der großen Masse die Wirkung der einzelnen Wellen weniger erheblich ist. Nichts desto weniger wird es bei heftigem Wellenschlage und namentlich wenn die Schiffe keine Segler sind, zuweilen doch unmöglich, in der beschriebenen Art, durch den Wind zu drehen, vielmehr muß dieses vor dem Winde geschehn. Das Schiff wendet sich alsdann rückwärts, was zwar jedesmal gelingt, wobei jedoch ein großer Theil des Weges, den man in der Richtung gegen den Wind gemacht hatte, wieder verloren wird. Auch bei diesem Manöver müssen die Segel wesentlich mitwirken, damit das Schiff schnell wendet und nicht zu lange vor dem Winde treibt. Um es kräftig zu drehn, lüftet man

das hintere Segel oder zieht die äußere Ecke desselben, die der Hals heißt, zurück, dadurch erhalten die vordern Segel das Uebergewicht und der Wind selbst bewirkt wieder die Drehung, die durch das Ruder unterstützt wird. Man nennt das Wenden vor dem Winde aus diesem Grunde auch das Halsen.

Dieses Beispiel über den Gebrauch der Segel zum Steuern des Schiffes mag genügen, und nur hinzugefügt werden, daß man zwar geringe Wendungen mittelst des Ruders ausführen kann, besonders wenn das Schiff in starker Fahrt begriffen ist, daß man aber mit diesem allein, während die Segel bei heftigem Winde unverändert stehn bleiben, unmöglich etwa unter einem rechten Winkel aus dem bisherigen Course abweichen kann. Es ergibt sich hieraus, daß das Fahrwasser im Hafen auf eine längere Strecke gerade gerichtet sein muß, damit bei der schnellen Fahrt, die zum Innehalten der engen Hafenmündung nothwendig ist, die nöthige Zeit zum Beseitigen der Segel bleibt.

Insofern das Schiff, welches bei dem Winde segelt, oder von dem letzteren gerade von der Seite getroffen wird, nicht nur nach vorn, sondern auch nach hinten getrieben werden kann, wenn die Segel in angemessener Weise gerichtet werden, so kann man die Segel auch so stellen, daß die Wirkungen des Windes auf dieselben sich gegenseitig aufheben und das Schiff, obwohl es unter vollen Segeln bleibt, doch weder vor, noch rückwärts geht und, abgesehen von dem Treiben nach der Langseite oder in der Richtung des Windes, unverändert auf derselben Stelle bleibt. Man sagt alsdann, das Schiff habe beigedreht. Dieses geschieht zum Beispiel, wenn vor dem Hafen der Lootse aufgenommen werden soll. Ein solches Manöver läßt sich indessen nur bequem bewerkstelligen, wenn das Schiff Raasegel führt, denen man durch Taue, die zum Einstellen der Raaen dienen, und die man die Brassen nennt, leicht die verkehrte Richtung geben kann. Auch auf Binnengewässern, und zwar wenn die Strömung das Schiff in der beabsichtigten Richtung fortreibt, während ein mäßiger Wind entgegensteht, pflegen Seeschiffe diese Segelstellung zu benutzen, um die Fahrwasser inne zu halten. Sie drehn sich alsdann quer gegen den Strom, und je nachdem die vorwärts oder die rückwärts gebrausten Segel schärfer angeholt werden, so geht das Schiff nach vorn oder nach hinten, und nähert sich daher dem einen oder dem andern Ufer. Der Wind treibt es

bei etwas stromauf, aber insofern die Strömung wirksamer ist, so legt es dennoch der letzteren. In dieser Weise sah man in früherer Zeit, als die neue Weichselmündung bei Neufähr sich noch nicht öffnet hatte und die Danziger Weichsel das Oberwasser abführte, sehr häufig die Schiffe ganz gegen einen mäßigen Wind, nach Fahrwasser herabsegeln. Noch häufiger wird dasselbe Manöver auf solchen Strömen benutzt, worin starke Fluth und Ebbe stattfindet. Man hat dabei den großen Vortheil, daß die Segel stehen bleiben, und daher nur gedreht werden dürfen, um den Wind vollständig benutzen zu können, sobald das Fahrwasser eine andre Richtung annimmt.

Da in manchen Häfen die Gelegenheit zum Ankern der Schiffe geboten wird, so ist es nothwendig, auch hierüber die erforderlichen Erklärungen zu geben. Der Anker besteht in seiner gewöhnlichen Zusammensetzung aus einer starken eisernen Stange, der Schaft genannt, die sich in zwei Arme spaltet. Letztere sind an ihren Enden gewöhnlich verbreitert, oder mit Schaufeln versehen, damit sie beim Eindringen in den Boden um so größeren Widerstand finden. Außerdem ist am Ende des Schaftes noch ein dritter oder eiserner Querarm angebracht, der Ankerstock genannt, der kreuzweise gegen die Arme gestellt ist und keinen andern Zweck hat, als den einen oder den andern Arm in eine solche Lage zu bringen, daß er in den Boden eindringt. Am Ende des Schaftes befindet sich noch ein starker Ring, an welchen das Ankertau oder die Ankerkette befestigt ist.

Man läßt den Anker, sobald das Schiff zum Stillstande gekommen ist, herabfallen, und da derselbe wegen der Befestigung an der Kette und wegen des Stockes, besonders wenn dieser aus Holz besteht, jedesmal mit dem Theile, wo die beiden Arme in einander beragehen, zuerst den Grund erreicht, so pflegen sich beide Arme auf den letzteren flach aufzulegen, wie Fig. 98 zeigt, so daß keiner von beiden zum Eingriff kommt. Das Schiff fängt nunmehr an zu weichen, und indem es den Anker nach sich zieht, so hindert dasjenige Ende des Ankerstockes, welches den Boden berührt, das weitere Fortziehn des Ankers. Sollte das Tau so kurz sein, daß es sehr steil steht, so würde es den Stock aufwärts ziehn, und den Widerstand aufheben, den derselbe auf dem Grunde findet. Wenn man dagegen, wie immer geschieht, das Tau weit auslaufen läßt, so daß

es sich in der Nähe des Ankers ganz oder doch nahe horizontal stellt, so findet ein Heben des Ankerstocks nicht mehr statt und derselbe haftet auf dem Grunde. Indem aber bei der ganz zufälligen Lage des Ankers der Schaft desselben und das Ankertau niemals, oder doch nur momentan in dieselbe Vertikal-Ebene fallen, so kippt der ganze Anker um das eingreifende Ende des Stockes, so daß letzterer sich flach auf den Boden legt, wie Fig. 99 zeigt. Nunmehr ist der untere Arm in solcher Stellung, daß er beim weiteren Fortgange des Schiffes, wie eine Pflugschaar, in den Grund eingreift. Aber auch jetzt findet er im gewöhnlichen thonigen Grunde oder im Sande keinen absolut festen Halt, vielmehr dringt er langsam immer weiter, besonders wenn bei heftigem Wellenschlage das Schiff stoßweise sehr stark die Kette oder das Tau anzieht. Das Schiff treibt daher langsam in der Richtung der Wellen, also gemeinhin gegen das Ufer. Die hieraus entstehende Gefahr wird erheblich, wenn bei anhaltenden Stürmen der Grund sich auflockert, also der Anker immer weniger Widerstand findet.

Was die Construction der gewöhnlichen Anker betrifft, die auch bei Hafenbauten vielfach gebraucht werden, so ist in Betreff der aus Eisen bestehenden Theile desselben nichts zu erwähnen, da der Schaft mit den beiden Armen und den daran befindlichen breiten Blättern oder Schaufeln in einem Stücke ausgeschmiedet, auch der Ring, nachdem er in die Oeffnung eingezogen ist, darin zusammengeschweißt wird. Der hölzerne Theil oder der Stock besteht dagegen aus zwei Stücken die genau an einander gepaßt sind, so daß sie den Hals des Ankers nahe am Ringe umschließen. Zu ihrer Befestigung ist der Hals mit einer Oeffnung versehen, durch welche entweder ein Dübel, oder ein längerer Bolzen hindurchgesteckt ist. In beide Theile des Stockes werden für den ersteren nach der Quere, oder für den letzteren nach der Länge die passenden Oeffnungen eingearbeitet, und nachdem dieses geschehn, werden beide Hälften durch mehrere aufgetriebene Ringe unter sich fest verbunden.

Bei kleineren Fahrzeugen und namentlich bei Böten bedient man sich meist des sogenannten Draggers, das heißt eines kleinen Ankers, der nicht nur zwei, sondern gewöhnlich fünf Arme hat, die strahlenförmig rings um den Schaft stehn und gleichfalls mit breiten Schaufeln versehen sind. Dabei ist der Ankerstock entbehrlich, weil der Dragger, wie er auch niederfallen mag, jedesmal auf einem

er auf zwei Armen liegt und beim Anziehen des Ankertaues mit dem in den Grund eindringt.

Wollte man, während das Schiff in starker Fahrt begriffen ist, den Anker fallen lassen, so würde bei der plötzlichen und sehr starken

Anspannung des Taues oder der Kette, dieses ohnfehlbar sofort zerreißen. Wenn man sich bei mäßiger Geschwindigkeit des Schiffes wegen andrer dringender Gefahr hierzu gezwungen sieht, muß man dafür sorgen, daß das Tau nicht sogleich festgehalten wird, sondern bei zunehmender Spannung sich noch weiter ausziehen

läßt. Das gewöhnliche Manöver beim Ankern besteht darin, daß man das Segelschiff gegen den Wind, oder bei heftiger Strömung gegen diese laufen läßt, wobei es sehr schnell zum Stillstande kommt. Sobald seine Fahrt vollständig aufgehört hat, so läßt man

den Anker fallen, und indem nunmehr der Wind oder der Strom das Schiff zurücktreibt, so spannt sich langsam das Tau, der Anker findet die passende Lage an, greift in den Grund ein und verhindert das weitere Treiben des Schiffes. Dabei muß indessen hinreichend Tau ausgelassen werden, weil der Anker nur hält, wenn die Kette einen beinahe horizontalen Zug auf ihn ausübt. Außerdem trägt das längere Tau auch noch wesentlich zur Sicherheit bei, weil das Tau wegen seiner Elasticität dem Stosse der Wellen um so mehr nachgibt, je länger es ist. Man darf nämlich nicht etwa voraussetzen, daß das Tau oder die Kette immer gleichmäßig gespannt, und daher das Schiff unverändert an seiner Stelle bleibt. Jede ankommende Welle stößt es zurück, nachdem diese aber weiter vorgegangen ist, so bewegt sich das Schiff wieder nach dem Anker hin, das Tau oder die Kette senkt sich, und so kann die folgende Welle wieder den kräftigen Stoß ausführen und das Schiff zurücktreiben, bevor das Tau die volle Spannung annimmt. Diese Bewegung wird sehr erleichtert, wenn das Tau recht schwer ist, oder wenn dafür eine Kette gebraucht wird, obwohl eine solche wegen ihrer sehr geringen Elasticität bei gleicher absoluten Festigkeit dem Stosse weniger Widerstand leistet.

Das Ankertau oder Kabel ist gewöhnlich 150 Klafter oder 9000 Faden lang, doch werden nicht selten mehrere solche an einander gesplisset, um zu verhindern, daß das Tau sich nicht zu steil stellt. Besonders ist dieses nothwendig, wenn man in großen Tiefen, wie etwa von 40 Faden ankert. Das Tau oder die Kette ist jedesmal

durch eine der beiden zu diesem Zwecke neben dem Vorsteven angebrachten Oeffnungen, die Klüsgate genannt, hindurch gezogen. Das Schiff wird daher an seinem Vordertheile gehalten und wenn es nicht etwa in starker Strömung liegt, so wird es vom Winde wie eine Fahne so gedreht, daß es seinen Bug demselben entgegenkehrt. Auch die Wellen, die gemeinhin in derselben Richtung laufen, treffen es alsdann von vorn. Wenn dagegen der Wind sich ändert, während die Wellen noch ihre frühere Richtung beibehalten, so wird das Schiff von den letzteren auf der Seite getroffen und man pflegt alsdann, ohne den Anker zu heben, oder zu lichten, einige Segel beizusetzen, damit das Rollen nicht zu heftig wird.

Das Liegen vor Anker bei starkem Winde und auf ungeschützter Rhede ist immer nicht ohne Gefahr und nimmt die Aufmerksamkeit des Seemannes im vollsten Maasse in Anspruch. Besonders muß er darauf achten, daß nicht etwa beim Umsetzen der Strömung das Tau oder die Kette den aus dem Grunde vortretenden Arm des Ankers faßt, wobei der letztere alle Haltung verlieren würde. Ist der Raum aber so beengt, entweder durch andere Schiffe oder durch Untiefen in der Nähe, daß das Schiff bei der nöthigen Länge der Kette sich nicht mehr bei den verschiedenen Richtungen des Windes und der Strömung um den Anker drehen kann, so bleibt nur übrig, es vor zwei Anker zu legen, die in verschiedenen Richtungen ausgebracht und deren Taue durch die beiden Klüsgate gezogen und angeholt sind.

In den Häfen, wo theils wegen mangelnden Raumes und theils wegen der mäßigen Tiefen der Gebrauch des Ankers immer beschränkt und oft ganz verboten ist, werden die Schiffe, wenn sie nicht an das Ufer oder an Duc d'Alben anlegen, vielfach an große schwimmende Buoyen befestigt, und letztere liegen entweder vor einarmigen Ankern, die also über die Sohle nicht vorragen, also auch nicht zum Anlaufen der Schiffe auf den obern Arm Veranlassung geben können, oder ihre Kette ist an eine Grundschraube befestigt, die unter der Hafensohle sich befindet und daher einen sehr sichern Stützpunkt bietet. Dagegen werden in größeren Häfen sehr häufig kleinere Anker oder sogenannte Warpanker benutzt, an welchen die Schiffe aus- oder einholen. Ein solches wird vor ihnen ausgebracht und an dem Tau desselben, mit Benutzung

alles das Schiff herangezogen. Bevor letzteres aber noch der des ersten Warpankers gekommen ist, muß schon ein weiterer Entfernung ausgebracht sein, dessen Tau in t angezogen wird, so daß die Bewegung ohne Unterbre- gesetzt werden kann.

e Stelle zu bezeichnen, wo der Anker liegt, und um den- leicht leichter aus dem Grunde lösen zu können, pflegt reites Tau daran so zu befestigen, daß es das Ende des rischen den beiden Armen faßt. Sobald dieses angewun- so zieht es den im Grunde steckenden Arm in der Rich- Länge, also unter dem geringsten Widerstande heraus. de dieses Taues befestigt man eine Buoye, die auf dem swimmt, die man also leicht fassen kann. Dieses Mittel . oder Lichten des Ankers ist jedoch meist nur bei ru- rung anwendbar. Es müssen daher auf dem Schiffe auch n Vorrichtungen getroffen sein, um mittelst des am Ringe Ankertaues oder der Kette den Anker zu lichten. Zu die- e befindet sich jedesmal neben dem Buge eine sehr kräf- , das große Spill oder auch wohl das Bratspill ge- n die starke und meist achteckig geformte Welle dessel- horizontal liegt, wird das Tau oder die Kette mehrmals igen und das Ende desselben angezogen, um die Reibung zu verstärken. Dieses Spill wird häufig nur mittelst ein- Hebel oder Handspacken in Bewegung gesetzt. Bei üffen geschieht dieses aber durch besondere mechanische gen, und zwar gewöhnlich durch darüber angebrachte el, die wie bei Feuerspritzen auf und nieder gezogen wer- ange das Schiff noch vom Anker entfernt ist, folgt es Zuge, sobald aber das Tau beinahe lothrecht steht, und beim ferneren Zuge aus dem Grunde gerissen werden folgt die Bewegung des Spilles sehr langsam, und zeit- ie vereinte Kraft der ganzen Schiffsmannschaft nicht im s Tau weiter einzuholen. Ein mäßiger Wellenschlag er- essentially dieses Manöver. Sobald der Bug des Schiffes zieht man das Tau recht steif an und die in das Spill en Sperrkegel, Palle genannt, verhindern sein Zurück- bald die nächste Welle das Schiff wieder hebt. Der An- aher demselben folgen. Ist endlich der Anker frei, oder

schwebt er über dem Grunde, so ist das fernere Herausheben nicht schwierig, aber in diesem Augenblicke treibt auch schon das Schiff vor dem Winde und die Segel müssen gehörig gerichtet werden. Gemeinhin pflegt man durch einige bereits angeholte Stagesegel dafür zu sorgen, daß das Schiff sogleich, wie es vom Anker nicht mehr gehalten wird, diejenige Wendung macht, welche dem Course entspricht, den es verfolgen soll.

Liegt das Schiff nahe vor dem Hafen vor Anker, und soll es bei günstigem Winde absegeln, wie gewöhnlich geschieht, so wird das Aufholen des Ankers ganz umgangen, wenn statt desselben eine zu den Hafenanstalten gehörige Buoye oder auch ein geborgter Anker benutzt wird, den der Eigenthümer später selbst hebt. Es geschieht auch wohl, daß man in diesen Fällen das Tau nicht am Buge, sondern am Spiegel des Schiffes befestigt, wodurch man den Vortheil erreicht, daß das Schiff schon in diejenige Richtung gekommen ist, in der es beim Lösen des Taus absegelt.

Wenn das Schiff im Hafen liegt, so kann es nicht leicht aus demselben heraussegeln, weil es noch nicht die nöthige Fahrt hat, um sicher dem Steuer zu folgen, alsdann aber die Gefahr eintritt, daß es gegen andre Schiffe oder gegen die Hafenköpfe treibt. Nur bei sehr günstigem Winde ist dieses nicht zu besorgen. Das Schiff wird also gewöhnlich an denjenigen Kopf geholt, der an der Wind-Seite oder der Luvseite liegt. Wenn es hier die Segel beigesetzt und die Fangtaue eingezogen hat, so treibt es zwar anfangs noch stark vor dem Winde nach dem gegenüberliegenden Kopfe (auf der Leeseite), indem es aber nach und nach mehr Fahrt gewinnt, so kommt es doch von demselben frei. Sollte in dieser Beziehung die Gefahr nicht ganz verschwinden, so wird das Schiff entweder durch Bugsiren mittelst eines Ruderbootes oder durch Warpen bis vor die Hafenmündung gebracht, wo es neben einer Buoye die Segel beisetzt. Kleine Dampfböte erleichtern wesentlich das Ausgehen der Schiffe, sie bugsiren solche aus dem innern Hafen bis auf die offene See, und da in der Zwischenzeit die Segel vollständig beigesetzt werden können, so braucht die Fahrt gar nicht unterbrochen zu werden, vielmehr segelt das Schiff sogleich weiter, wie das Schlepptau abgeworfen wird. Auch zum Einbringen der ankommenden Schiffe sind diese Dampfböte von großer Bedeutung, da bei Landwinden, wobei die See abstillt und häufig eine starke ausgehende

das Schiff ins Schlepptau neh-

einer Ufereinfassung,

er Segel gehn zu las-

on der Uferseite träfe.

schwache Strömung

ie Fall wiederholt sich nicht

ar sehr häufig. Die Schiffe,

warteten den Eintritt des östli-

, mit diesem stellte sich auch die

Hafte ein. Die Schiffe wurden als-

afen verholt und vor das sogenannte

ches das Tief oder die Verbindung zwi-

er See auf der Nordseite begrenzt. Sie la-

, so daß ihr Hintertheil nach der See gerich-

ar der Wind so sehr südlich, daß er sie stark

drückte und sie daher von dem letzteren gewiß

amen wären, wenn man den Versuch gemacht hätte,

ar abfahren zu lassen. In der bezeichneten Lage wur-

gel aufgehifst und zunächst so gestellt, daß sie sämt-

llei zum Winde standen, also der Einwirkung desselben

t wenig ausgesetzt waren. Sodann löste man die Fänge-

rückwärts gekehrten Vordertheils des Schiffes und setzte

mittels Stangen vom Ufer ab. Es wurde alsbald vom

gefaßt, der ohnerachtet des Windes die Drehung soweit vol-

daß das Schiff normal gegen das Bohlwerk sich stellte.

er wurden die Segel in der Art gerichtet, als ob bei dem

gesegelt werden sollte, und in Folge dessen zogen sich die

en steif, an denen das Hintertheil noch immer gehalten

m das Schiff nicht früher durch den Wind und Strom fort-

u lassen, bevor der Wind es von dem Bohlwerke entfernte.

dieses, so löste man die Fangtaue, und nunmehr vollendete

n freien Wasser die Drehung und nahm die Richtung nach

gatt an.

§. 32.

Erfordernisse der Seehäfen.

Das wichtigste Erforderniß eines Seehafens ist die hinreichende Tiefe. Ein bestimmtes Maass derselben läßt sich nicht angeben, da die GröÙe der einlaufenden Schiffe gemeinhin durch diese Tiefe bedingt wird und die localen Verhältnisse vielfach von der Art sind, daß eine große Tiefe, wenn auch durch außerordentliche Mittel momentan darzustellen, doch nicht dauernd zu erhalten ist. Die Mündungen mancher Häfen, so wie auch die Fahrwasser, die seawärts zu denselben führen, sind wie schon oben (§ 5) erwähnt, starken Versandungen ausgesetzt. Solche treten aber vorzugsweise bei heftigem Wellenschlage ein, also wenn ein starker Seewind das Ufer trifft. Wenn nun, während dieses sich ereignet hat, ein Schiff nach dem Hafen segelt und sich demselben soweit nähert, daß das Signal bemerkt werden kann, welches anzeigt, daß die frühere Fahrtiefe nicht mehr vorhanden ist, so tritt für das Schiff eine große Gefahr ein. Während des Sturmes vor einem ganz ungeschützten Ufer zu ankern, ist höchst bedenklich, ein Zurückgehn nach der offenen See aber häufig ganz unmöglich. Die Versicherungs-Gesellschaften pflegen solche Verhältnisse auch sehr richtig zu würdigen, und die Gefahren, die dem Schiffe vor einem Hafen drohen, den es unter ungünstigen Umständen nicht sogleich einlaufen kann, viel höher zu taxiren, als die wahrscheinlichen Schäden auf einer weit ausgedehnten Fahrt in offener See.

Beim Einlaufen in den Hafen während eines heftigen Wellenschlages kommt noch ein anderer sehr wesentlicher Umstand in Betracht. Das Schiff behält nämlich nicht diejenige Lage, in der es auf ruhigem Wasser schwimmt. Während es von einer Welle eingeholt wird, so hebt es sich hinten und fällt mit dem vordern Theile herab, wenn es hier nicht mehr von der vorhergehenden Welle getragen wird. Es schlägt alsdann 1 auch wohl 2 Fuß durch, und bedarf daher unter solchen Umständen einer um so größeren Wassertiefe. Ergiebt sich zum Beispiel aus dem Wasserstande am Pegel die Tiefe von 14 Fuß in der Mündung, so kann ein Schiff von 12 Fuß Tiefgang bei heftigem Wellenschlage schon leicht den Grund berühren. Geschieht dieses mit dem hinterern Theile des

Kieles, so wird dadurch zwar eine Erschütterung, oder ein Stoß veranlaßt, der einen Leck verursachen, oder das Schiff sonst beschädigen kann, es ist aber nicht entfernt so gefährlich, als wenn beim Durchschlagen der vordere Theil des Kieles in den Grund stößt und dadurch, wenn auch nur während der kürzesten Zeit, den Fortgang des Schiffes hemmt. Das Trägheits-Moment des Schiffes, verbunden mit dem Drucke des Windes auf die Segel und mit dem Stosse der Wellen, veranlassen in diesem Falle eine Drehung des Schiffes in dem engen Fahrwasser und eine Strandung ist alsdann unvermeidlich.

Es sollte hier nur auf die überwiegende Wichtigkeit der Tiefe in der Hafenmündung oder in dem davor liegenden Fahrwasser aufmerksam gemacht werden. Die Frage, in welcher Weise dieselbe beschafft und sicher erhalten werden kann, erfordert ein näheres Eingehn, und wird daher in dem folgenden Abschnitte besonders behandelt werden. Hier wäre nur darauf aufmerksam zu machen, daß dieses durch künstliche Vertiefung, oder durch Baggerung nicht möglich ist, wenigstens vor keinem Hafen, der an der offenen See liegt. Man kann freilich an einzelnen Tagen während sehr ruhiger Witterung auch hier den Bagger benutzen, wie dieses in der That zuweilen geschieht, wenn aber bei heftigen Stürmen große Sand- oder Kiesmassen sich vorlegen, so kann man die ansegelnden Schiffe unmöglich warten lassen, bis vielleicht nach Monaten die Gelegenheit sich bietet, das Fahrwasser wieder aufzuräumen. An solchen Küsten, die vor Verflachungen nicht an sich schon gesichert sind, müssen daher die Hafenmündungen in andrer Weise geräumt, oder stets offen erhalten werden.

Daß auch die Hafenbassins die nöthige Tiefe haben müssen, damit die Schiffe darin schwimmen können, bedarf kaum der Erwähnung, aber wohl muß darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Schiffe während des Sturmes jedesmal mit großer Geschwindigkeit einlaufen, und alsdann, wenn es Segelschiffe sind, weder schnell in eine andre Richtung gebracht, noch auch plötzlich angehalten werden können. Sie laufen also im Hafen selbst noch eine längere Strecke in derselben Richtung fort, in der sie eingekommen sind. Es muß dafür gesorgt werden, daß sie dieses thun können, ohne die Hafenwände zu berühren, und ohne sich in flacheren Theilen des Hafens auf den Grund aufzusetzen.

Das Einlaufen aller Schiffe und namentlich der Segelschiffe

wird wesentlich erleichtert, wenn dieses nicht in einer einzigen Richtung geschehn muß, vielmehr ein Spielraum von mehreren Strichen nach jeder Seite geboten ist, ohne daß man besorgen darf, die Schiffe dadurch gegen die Hafenwände zu steuern. Bei denjenigen Häfen, die mit langen und schmalen Eingängen versehen sind, wie mehrere von unsern Ostseehäfen, ist dieses freilich nicht möglich, wohl aber bei solchen, die breite Bassins bilden, und deren Umfassungswände zu beiden Seiten der Mündung stark convergiren oder vielleicht direct gegen einander gerichtet sind. Als Beispiel eines solchen Bassinhafens, der auch in andrer Beziehung große Vortheile bietet, mag der Hafen Kingstown bei Dublin erwähnt werden, dessen Situation Fig. 102 darstellt.

Besonders in dem Falle, wenn ein starker Strom vor dem Hafen vorbeistreichet, ist eine Mündung dieser Art von großer Bedeutung und erleichtert wesentlich das Einlaufen der Schiffe. Sehr scharfe und plötzliche Wendungen sind mit dem Seeschiffe nicht leicht auszuführen, man darf daher nicht etwa nahe an dem Ufer heraufkommen und alsdann plötzlich in den Hafen einzulaufen versuchen. Es ist vielmehr nothwendig, sich vom Ufer und dem Hafen etwas entfernt zu halten, und schon in einem gewissen Abstände dem Schiffe diejenige Richtung zu geben, die es beim Einsegeln haben muß. Wenn die Segel des in der Fahrt begriffenen Schiffes auch jedesmal so gestellt werden, daß der Wind dasselbe in seiner Längenrichtung nach vorn treibt, so bewegt es sich doch keineswegs jedesmal in dieser Richtung, weil es theils schon durch den Wind abgetrieben wird, wie oben gezeigt ist, theils aber geschieht dieses auch, und zwar oft sehr stark, in Folge der Strömung. Dieses Abtreiben muß genau berücksichtigt werden, und der am Steuer befindliche Seemann faßt deshalb nicht nur den Punkt, den er erreichen will, also etwa den Kopf des Hafendammes ins Auge, sondern er betrachtet auch zugleich die Verschiebungen der dahinter belegenen Gegenstände. Ist er in die Linie gekommen, in welcher er einlaufen will, so richtet er keineswegs das Schiff auf jenen ersten Punkt, denn in solchem Falle würde es sogleich durch den Strom aus jener beabsichtigten Einsegelungs-Linie herausgetrieben werden, vielmehr steuert er das Schiff so, daß beide Bewegungen, die es macht, nämlich indem es in seiner Längenrichtung vorgeht und indem es zugleich dem Strome folgt, diejenige Richtung zur

Diagonale haben, die er einschlagen will. Er kann sich auch leicht davon überzeugen, ob dieses der Fall ist, denn alsdann bleibt derselbe entferntere Gegenstand immer hinter dem vorderen Punkte, ohne sich rechts oder links gegen denselben zu bewegen. Wenn aber auch, wie meist der Fall ist, die Stärke oder die Richtung der Strömung in den verschiedenen Abständen vom Ufer sich ändert, so kann er dennoch in dieser Weise das Schiff stets in jener geraden Linie halten und es endlich so in den Hafen einführen, daß es zuletzt, wenn es dem Strome ganz entzogen ist, noch in dieser Linie bleibt. Beim Einlaufen in den Hafen tritt freilich für kurze Zeit noch der sehr ungünstige Umstand ein, daß der vordere Theil des Schiffes bereits durch den Hafenkopf gedeckt, also vom Strome nicht mehr getroffen wird, während das Hintertheil demselben noch ausgesetzt ist. In dieser Periode fängt das Schiff an sich zu drehen. Durch vorsichtige Führung desselben und indem man ihm vorher eine etwas andere Richtung gab, läßt sich jedoch diese Drehung unschädlich machen, jedenfalls wird ihr nachtheiliger Einfluß aber wesentlich geschwächt, wenn das Schiff mit großer Geschwindigkeit einläuft. Dieses gilt eben sowol für Dampfschiffe, wie für Segelschiffe.

Hat ein solcher Bassinhafen auch nur mäßige Länge und Breite, so können die einlaufenden Segelschiffe darin aufdrehn und vor Anker gehn, während die Dampfböte auch hier durch Rückgang der Räder oder der Schrauben sehr schnell zum Stillstande gebracht werden können. Haben die Häfen dagegen, wie die Mehrzahl der Ostsee-Häfen, lange und schmale Eingänge, in welchen nicht in der gewöhnlichen Art geankert werden kann, so müssen sie entweder so lang sein, daß, nachdem die Mündung passiert ist, die Segel beseitigt werden können und alsdann noch hinreichender Raum bleibt, um das Schiff auslaufen zu lassen, so daß seine Geschwindigkeit beinahe vollständig aufhört. Ist dieses nicht möglich, so muß in anderer Weise für die Verminderung der Geschwindigkeit gesorgt werden.

Das erste findet beispielsweise in dem Hafen von Swinemünde statt, Fig. 101, woselbst die Schiffe, nachdem sie den Kopf der am weitesten vortretenden Mole, nämlich der östlichen, erreicht haben, neben dem sehr gleichmäßig und sanft gekrümmten östlichen Hafendamme und dem hieran anschließenden Ufer 750 Ruthen, also drei Achtel einer

Deutschen Meile, in einem Fahrwasser von 30 und stellenweise sogar von 60 Fufs Tiefe auslaufen können. Dafs diese Anordnung zweckmäfsig sei, läfst sich wohl nicht sagen, denn das Fahrwasser ist bis zum alten Nothhafen oder auf 500 Ruthen Länge so beschränkt, dafs Schiffe hier nicht liegen können und unter schwierigen Verhältnissen selbst ein Beegnen derselben gefährlich wird. Ein sehr grofser Theil des Hafens ist also für dessen eigentliche Zwecke ganz nutzlos, und das Durchfahren desselben, das bei Winden, die nicht gerade günstig sind, oder bei starkem Gegenstrome nur mit Hülfe von Dampf-Schleppbooten geschieht, verursacht vielfach grofsen Zeitverlust und Kostenaufwand.

Unter den Mitteln, die man anwendet, um die Geschwindigkeit des in den Hafen einlaufenden Schiffes zu mäßigen, mufs zunächst das Stoppen mit Hülfe eines am Ufer befestigten Tanes erwähnt werden. Dieses ist unter Andern beim Einlaufen in den eigentlichen Hafen von Pillau ganz gewöhnlich. Derselbe liegt nicht an der offenen See, sondern unmittelbar an der Ostseite der Stadt und mündet in das sogenannte Tief, welches die Mündung des Frischen Haffes bildet. Seewärts von demselben liegt die Untiefe oder Barre, die den zulässigen Tiefgang der aufkommenden Schiffe bedingt. Haben die letzteren dieselbe passirt, so finden sie bis zur Hafenmündung tiefes und geräumiges Fahrwasser, wenn sie aber sogleich in den Hafen einlaufen wollen, vor dem oft noch ein bedeutender Wellenschlag, so wie auch meist eine starke Strömung statt findet, so müssen sie in voller Fahrt bleiben und die Segel dürfen erst nahe vor dem Hafen eingezogen werden. Sie treten also mit grofser Geschwindigkeit ein, und würden den nur kleinen Hafen der ganzen Länge nach durchlaufen, ohne zum Stillstande zu kommen, während gemeinhin hier so viele Schiffe liegen, dafs ein Gegenstoßen dabei ganz unvermeidlich wäre. Um solchen Unfällen zu begegnen, wird von dem einkommenden Schiffe aus ein starkes Tau auf das Bohlwerk geworfen, welches auf der westlichen oder der Stadtseite die Hafenmündung begrenzt. Hier befinden sich jedesmal einige Zuschauer, die sehr bereitwillig das lose Tau um den Schiffshalter zweimal umschlingen und es mit einfachem Stiche oder halbem Knoten daran befestigen. Nunmehr wird das andre Ende des Tanes auf dem Schiffe schnell angezogen, und um zwei neben einander befindliche Poller in einer Windung lose umgeschlungen. Um es

nur sicher zu halten, fassen zwei Mann das Ende und ziehn es kräftig an. Ein augenblickliches Anhalten des Schiffes erfolgt keineswegs, dieses ist bei der großen bewegten Masse unmöglich. Sollte aber das Tau gleich vollständig festgehalten werden, so würde es auch sogleich zerreißen. Nur die Reibung an den Pollern bildet den Zug, der das Schiff aufhält, und um diesen möglichst zu verstärken, ohne das Gleiten des Taus zu verhindern, wird dasselbe rückwärts angezogen. So windet sich das Tau in scharfen Krümmungen ab, und in gleichem Maasse, wie dieses geschieht, fassen die Matrosen es immer weiter rückwärts. Das Tau spannt sich dabei sehr stark, und wie groß die Reibung an den Pollern ist, giebt sich oft durch den Rauch zu erkennen, der in Folge der Erhitzung hier aufsteigt. Dieser Gegenzug ist indessen sehr wirksam, und nachdem das Schiff einige hundert Fuß weit gelaufen ist, hat seine Geschwindigkeit so sehr abgenommen, daß das Tau vom Schiffshalter abgeworfen und das Schiff ans Ufer gesteuert werden kann.

Demnächst werden zu demselben Zwecke auch zuweilen die Anker benutzt, deren Gebrauch jedoch in manchen Häfen streng verboten ist. Zu diesem Zwecke läßt man einen leichten Anker, bei kleineren Schiffen auch wohl nur einen Dragger vom Hintertheile des Schiffes herabfallen, dessen Tau oder Kette meist sogleich an einen Poller vollständig befestigt wird. Derselbe faßt auch keineswegs so sicher, daß er nicht nachgeben sollte, er wird vielmehr wie eine Pflugschaar durch den Grund gezogen und der Widerstand, den er findet, bringt das Schiff nach und nach zum Stehen. Er ersetzt also jenes Umschlingen des Taus um die Poller.

Sollte die Geschwindigkeit des Schiffes sehr groß und die Gefahr des Auflaufens augenscheinlich sein, so wagt man auch wohl, den schweren Hauptanker, der am Buge hängt, fallen und die Kette über die Winde ablaufen zu lassen, wobei sie eine sehr starke Reibung erfährt und dadurch das Schiff bald zum Stehen bringt. Dieses Verfahren ist indessen nur zulässig, wenn der Hafen so tief ist, daß das Schiff noch sicher über den Anker fortgehn kann, ohne ihn zu berühren. Sollte es auf denselben aufstoßen, so wäre eine sehr starke Beschädigung die unausbleibliche Folge. In dem Vorhafen des alten Docks in Bremerhaven sah ich einst dieses Auswerfen des großen Ankers. Der Vorhafen mündet in die Weser,

die hier zwar nur etwa eine Viertel Deutsche Meile breit ist, aber bei Fluth und Ebbe starke Strömung hat. Das aufkommende Schiff mußte also mit starker Fahrt einsegeln, um neben dem Kopfe des auf der nördlichen Seite belegenen Hafendamms sicher einzulaufen. Die Entfernung von diesem bis zur Schleuse mißt aber nur 1000 Bremer oder 920 Rheinländische Fuß, sie genügte also nicht, um mittelst des kleinen nachschleppenden Warp-Ankers das Schiff zum Stehen zu bringen, woher gleich darauf noch der Hauptanker herabgelassen wurde.

Die Benutzung der Anker für diese Zwecke kann nur eintreten, wenn der Grund dazu geeignet ist, wenn letzterer also aus Sand oder Thon besteht, und außerdem auch so rein ist, daß das Heben des Ankers keine Schwierigkeit macht. In Felsboden greift der Anker nicht, oder wenn dieses geschehn sollte, wenn er also etwa einen Spalt trafe, so würde er sich so fest setzen, daß es zweifelhaft wäre, ob man ihn schnell wieder heben könnte, und wäre dieses nicht möglich, so würde er für die folgenden Schiffe höchst gefährlich werden. Wenn nun der Boden aus ziemlich ebenem Felsgrunde besteht, über den der Anker mit Leichtigkeit fortgezogen wird, ohne daß er einen merklichen Widerstand veranlaßt, so läßt sich dennoch künstlich der Anker hier aufhalten, und zwar so sicher, daß er gar nicht nachgiebt, also wie ein fester Schiffhalter wirkt. Dieses geschieht dadurch, daß eine schwere Kette quer durch die Hafenmündung gelegt und an beiden Enden sicher befestigt wird. Ehe das Schiff an diese Stelle gelangt, wird vom Hintertheile aus der Anker geworfen und sein Tau lose um zwei Poller geschlungen. Der Anker folgt alsdann dem Schiffe, bis er die Kette faßt. Hier bleibt er plötzlich unbeweglich liegen, und nunmehr zieht sich sein Tau in gleicher Art, wie oben beschrieben, über die Poller aus. In der Mündung des alten Hafens von Holyhead ist eine solche Kette ausgelegt, welche die einsegelnden Schiffe oft benutzen, um nicht auf die Felsen im innern Hafen einzulaufen.

Ein anderes eigenthümliches Mittel zum Aufhalten der einsegelnden Schiffe ist in dem kleinen Hafen Rügenwaldermünde im Gebrauche. Dieser Hafen ist sehr schmal, so daß seine Breite stellenweise noch nicht 6 Ruthen beträgt, und ist ganz gerade in der Richtung nach Nordwest gestreckt. Seine Tiefe beträgt in der Mün-

ng 9 bis 10 Fufs, doch bleibt sie oft noch darunter. Hiernach anen nur kleinere Fahrzeuge, meistens Schooner und Jachten, den sen besuchen. Bei starken nordwestlichen Winden laufen die allen mit grofser Heftigkeit ein, und die Schiffe, die alsdann oder andern Seewinden einkommen, können nur in starker Fahrt die male Mündung sicher treffen. Der Raum, den sie alsdann durchfen, hat nicht die nöthige Ausdehnung, um ihre Geschwindigkeit vollständig aufzuheben, weil 90 Ruthen von der Mündung des Haas entfernt über denselben eine Klappbrücke führt. Wenn diese ch hinreichende Weite zum vorsichtigen Durchführen der Schiffe, so wagt man es doch nicht, die Letzteren sogleich beim Eingeln mit grofser Geschwindigkeit hindurchgehn zu lassen, weil sie leicht gegen die Brücke stoßen, und alsdann diese oder sich bst beschädigen würden. Sollte aber auch ein Zusammenstofs r nicht erfolgen, so wäre ein solcher hinter der Brücke unveridlich, wo entweder die dort liegenden Schiffe getroffen oder nicht hr die nöthige Wassertiefe gefunden würde. Um demnach die hiffe, die unter besonders ungünstigen Umständen, also mit gro- r Fahrt einlaufen, vor der Brücke sicher aufzuhalten, spannt man i starkes Tau, das sogenannte Hafenta u, quer über den Hafen, dafs es etwa 5 Fufs über dem Wasserspiegel schwebt. Gegen as laufen die Schiffe an und werden dadurch zum Stehn ge- acht. Dieses gewifs sehr gewaltsame Mittel ist keineswegs ge- rlos. Vor mehreren Jahren brach das Tau, obwohl es 3 Zoll Durchmesser hielt und noch in gutem Stande sich befand, die r stark gespannten Enden desselben schlugen dabei aber mit sol- er Heftigkeit zurück, dafs dem Seemanne, der es an der einen ite befestigt hatte, der Fufs zerbrochen wurde.

Die beiden zuletzt beschriebenen Vorkehrungen sind nur in enigen Häfen zur Anwendung gebracht, dagegen findet man viel- ch zu gleichem Zwecke eine sogenannte Schlickbank, die bei r Vertiefung des Hafens immer unberührt bleibt. In einer ange- assenen Stelle und zwar vorzugsweise in einer zurücktretenden ke, welche weder bei der Bewegung der Schiffe, noch auch beim legen derselben an die Ufer benutzt wird, läfst man die weichen d schlammigen Niederschläge, die nie zu fehlen pflegen, sich an- mmeln und zwar gemeinhin in solcher Höhe, dafs sie über den ttleren Wasserstand sogar heraustreten. Wenn nun alle Mittel

versagen, um das einlaufende Schiff rechtzeitig zum Stillstande zu bringen. oder wenn gerade in dieser Zeit der Hafen beim Verhören von andern Schiffen gesperrt sein sollte, so steuert man es auf jene Bank, und indem es darin eine tiefe Furche einschneidet, steigt es zugleich hoch auf, so daß sein Vordertheil sich um mehrere Fuß erhebt. Es erfährt dabei allerdings einen heftigen Stoß, so daß einige Fugen sich zu öffnen pflegen, auch wohl Theile der Takelage brechen, überdiß verursacht es meist nicht geringe Mühe, um es später wieder loszuwinden, aber jedenfalls sind diese Uebelstände viel geringer, als wenn es in voller Fahrt auf andre Schiffe oder gegen fest verbundene Hafenwände gelaufen wäre, wobei nicht weiche und nachgebende Massen den Stoß aufgenommen hätten, dieser vielmehr nur eine vollständige Zertrümmerung verursachen mußte.

Von der äußersten Wichtigkeit ist es ferner, daß der Hafen von starker Wellenbewegung frei bleibt. Jeder Hafen hat wohl in allen Fällen nur so mäßige Ausdehnung, daß selbst bei heftigen Winden nachtheilige Wellen sich darin nicht bilden können, es kommt daher nur darauf an, daß diese nicht ungeschwächt von dem Meere aus hineindringen und sich darin weit fortsetzen. Der Wellenschlag ist für ein Schiff am wenigsten gefährlich, wenn es sich unter Segel befindet. Es kann freilich durch die fortdauernden Erschütterungen und Schwankungen in seiner Verbindung etwas leiden, auch wird bei heftigem Seegange seine Führung erschwert, da es aber stets vom Wasser getragen wird und nur dieses berührt, so bleiben die Stöße doch immer sanft, und außerdem veranlaßt der ziemlich gleichmäßige Druck des Windes gegen die Segel eine Unterstützung, die in hohem Grade die Schwankungen mäßigt. Selbst bei Dampfböten pflegt man, wenn es sein kann, in heftigem Seegange einige Segel beizusetzen, um das zu starke Rollen zu schwächen. Viel bedenklicher ist es schon, wenn bei heftigem Wellenschlage der Wind plötzlich ganz aufhört, weil alsdann die Schwankungen viel stärker werden. Noch übler ist es aber, wenn in solchem Falle das Schiff vor Anker liegt. Es ist schon erwähnt worden, welche große Vorsicht alsdann nothwendig wird, um das Brechen des Ankertaues oder der Ankerkette zu verhindern. auch der Anker selbst liegt nicht absolut fest, er wird vielmehr langsam durch den Grund gezogen, und er leistet um so weniger Wi-

~~der~~stand, je steiler das Tau oder die Kette ansteht, oder je weniger ~~man~~ beide anlassen kann.

Es ergibt sich hieraus, daß in einem Hafen, wo die Räumlichkeit doch immer beschränkt ist, das Ankern bei heftigem Wellenschlage nicht als gefahrlos angesehen werden kann, besonders wenn das Schiff nicht mit schweren Ankern und hinreichend festen Ketten und Tauen versehen ist. Sehr vortheilhaft ist es daher, wenn in dem Hafen große schwimmende Buoyen liegen, die mit starken Ketten an Grundschrauben befestigt sind. Das einkommende Schiff darf alsdann nur mittelst eines durch den Ring der Buoye hindurchgezogenen Taus oder einer Kette gehalten werden, um vor dem Treiben ganz gesichert zu sein.

Viel nachtheiliger ist der Wellenschlag, wenn die Schiffe von freistehenden mit einander verbundenen Pfählen, oder von sogenannten Duc d'Alben gehalten werden. Indem diese gar nicht nachgeben, so verursacht jede Welle ein heftiges Anspannen der Kette oder des Taus, wobei diese leicht brechen. Am übelsten ist es aber, wenn die Schiffe am Ufer befestigt sind, also entweder unmittelbar vor diesem, oder vor andern Schiffen liegen. Ein starkes Reiben und Stoßen ist alsdann während des Wellenschlages unvermeidlich, wodurch die Theile, welche vor die Seitenwand vortreten, leicht beschädigt und außerdem auch der ganze Verband des Schiffes gelockert werden kann.

Endlich kommt beim Wellenschlage auch noch der Umstand in Betracht, daß die Schiffe dabei bald vorn und bald hinten tiefer eintauchen, als wenn sie bei gleichem Wasserstande sich in Ruhe befinden. Dieses Herabsinken oder Durchschlagen beträgt wohl 1 bis 2 Fuß, und wenn der Kiel dabei vorn oder hinten den Grund berührt und dieser nicht ganz weich ist, so treten heftige Erschütterungen ein, wobei das Schiff leidet, und falls es auf Felsboden aufstößt, selbst während es im Hafen liegt, noch verunglücken kann.

Es ergibt sich aus Vorstehendem, wie wichtig es ist, das Eintreten der Wellen in die Häfen zu verhindern, oder wenn dieses nicht möglich sein sollte, Vorkehrungen zu treffen, daß wenigstens diese Wellen sich in der Nähe der Hafenmündung schon wesentlich abschwächen, ohne das Einkommen der Schiffe zu erschweren. Es giebt viele Häfen, in welchen dieses nicht entfernt erreicht wird,

wo vielmehr bei gewissen Winden die Schiffe großer Gefahr gesetzt sind und Unglücksfälle sich alsdann vielfach zu wiederholen pflegen. Nichts desto weniger sind in dieser Beziehung doch manche wichtige Erfahrungen, so wie auch Versuche zur Abstellung Uebelstände gemacht worden. Es wird im Folgenden (§ 33) ausführlicher hiervon die Rede sein.

Demnächst kann auch der Wind, ganz abgesehen von den laufenden Wellen, die Benutzung des Hafens erschweren und Umständen sogar die darin liegenden Schiffe beschädigen. Da sowohl in ihrem Körper, als auch in den Masten, Raaen und stigen Hölzern und dem Tauwerke eine große Angriffsfläche ist, und der Sturm niemals ganz gleichmäßig, sondern immerweise wirkt, so werden die Taue, mittelst deren das Schiff befestigt ist, abwechselnd stark in Anspruch genommen, indem sie bei einer Elasticität sich aber gleich darauf wieder etwas verkürzen, und auch das Schiff anziehen, so wird letzteres bei dem nächsten Sturm wieder fortgetrieben und das Tau muß dem Momente dieser Bewegung und zugleich der Kraft des Windes widerstehen, wobei dann ein Bruch erfolgt. In Pillau geschah es, daß bei solcher Gelegenheit die starken Eichenpfähle, woran die Schiffe befestigt waren, gelöst und so weit übergeneigt wurden, daß die Ketten und Taue nicht mehr sicher daran hafteten. In dieser Beziehung sehr vortheilhaft, wenn der Hafen auf der Seeseite, von wo einmal der Wind am heftigsten weht, durch hohe Ufer, Wald oder andre Gegenstände geschützt wird. Vergleichungsweise mit den früher erwähnten Erfordernisse, ist diese Rücksicht jedoch wenig erheblich, und in den meisten Fällen fehlt auch jede Gelegenheit, dieselbe zu beachten.

Wichtiger ist es, dem Hafen solche Breite zu geben, daß nicht nur Schiffe vor beiden Ufern und zwar in mehreren Lagen einander liegen können und dennoch zum Verholen anderer und zum Begegnen von solchen hinreichender Raum bleibt. Ist dies der Fall, so genügt die Breite auch zum Wenden der Schiffe, wenigstens an solchen Stellen, die nicht besetzt sind. Ist der Hafen dagegen schmaler, so muß unbedingt dafür gesorgt werden, daß das Wenden irgendwo innerhalb desselben erfolgen kann, den Umständen nach, die Schiffe ein- oder auszubringen ist, wenn die Mündung offener See liegt, durchaus unzulässig. Selbst die Dampfboote

~~Von~~ Bremen nach Bremerhaven gehn, die also die See nicht berühren, sondern nur auf der Weser bleiben, wagt man nicht rückwärts in die bei niedrigem Wasser überaus schmale Geeste einlaufen oder ausgehn zu lassen. Da dieselben jedoch hier nicht wenden und wegen des kurzen Aufenthaltes vielfach auch nicht das Hochwasser abwarten können, so hat man sich dadurch geholfen, daß ein zweites Steuer am Vordersteven eingehängt wird, und sie vor diesem einlaufen.

Will man den einkommenden Schiffen Gelegenheit geben, im Hafen selbst vor Anker zu gehn, so muß die Breite, wenn auch nur auf kleinere Handelsschiffe Rücksicht genommen wird, doch wenigstens etwa 50 Ruthen betragen. Eine wesentliche Erleichterung wird hierdurch unbedingt geboten, doch fehlt sie in der großen Mehrzahl der Häfen, und sie kann daher nicht als dringendes Bedürfnis angesehen werden.

Ein anderer Grund, der für die große Breite spricht, bezieht sich darauf, daß alsdann das Verhältniß zwischen dem Hafenraume und der Länge der Umschließung desselben sich viel vortheilhafter herausstellt. Eine gewisse Anzahl von Schiffen soll im Hafen untergebracht werden, und dieses wird mit den geringsten Kosten erreicht, wenn man große Breiten wählt, weil die Einfassungen, mögen sie massiv sein, oder in hölzernen Bohlwerken bestehn, in der Anlage, und die letzteren auch in der Unterhaltung überaus theuer sind. Zu dem großen Mißverhältnisse, das sich bei manchen, und namentlich bei einigen Preussischen Seehäfen in dieser Beziehung herausstellt, hat vorzugsweise der Umstand Veranlassung gegeben, daß man die ursprünglichen Mündungen nach und nach immer weiter herausgeführt hat. Besonders ist dieses beim Hafen Neufahrwasser geschehn, der auf diese Weise eine Länge von 600 Ruthen erhalten hat und durchschnittlich nur etwa 15 Ruthen breit ist. An einzelnen Stellen mißt seine Breite sogar nur 10 Ruthen, und hier kann kein einziges Schiff liegen, ohne das Vorbeifahren von andern zu verhindern. Daß im Hafen Swinemünde (Fig. 101) ähnliche Verhältnisse vorkommen, ist bereits erwähnt, der Mißstand ist hier aber nicht durch die zu große Nähe der beiderseitigen Ufereinfassungen veranlaßt, als vielmehr dadurch, daß die sehr ausgedehnte Sandbank, die Joachims-Fläche genannt, die schon bei der Anlage des Hafens mit umschlossen wurde, niemals beseitigt ist, und seit

jener Zeit gewiss an Höhe, vielleicht auch an Breite zugenommen hat.

Wenn es sich fragt, was man thun kann, um einem bereits bestehenden sehr engen Hafen die nöthige Breite zu geben, damit er im Stande ist, eine grössere Anzahl von Schiffen aufzunehmen, so hilft man sich meist damit, daß man ausgedehnte Bassins zur Seite eröffnet, und dieses rechtfertigt sich besonders in solchem Falle, wenn ein bedeutender Fluthwechsel statt findet, und man jedes dieser Bassins durch eine Schleuse sperrt, und darin den hohen Wasserstand der vollen Fluth zurückhält, also das Bassin in ein sogenanntes Dock, oder in einen Flotthafen verwandelt. Andererseits ist es aber von grosser Wichtigkeit, daß unmittelbar neben der Mündung schon Schiffe liegen können, die entweder hier nur Schutz suchen, oder die zum Ausgehn bereit sind und günstigen Wind abwarten. Um hierzu Gelegenheit zu bieten, bleibt nur übrig, einen oder beide Hafendämme in angemessener Weise zurückzulegen. Wenn dabei aber zugleich der nöthige Schutz gegen Wellenschlag den Schiffen geboten werden soll, so muß die Mündung bedeutend enger, als der Hafen sein, es müssen daher an jene Hafendämme Flügel angebaut werden, die einander gegenüber vortreten. Die Verengung der Mündung ist aber auch insofern nothwendig, als dieselbe eine kräftige Strömung behalten muß, um immer offen zu bleiben. Daß im breiten Hafen Versandung oder Aufschlickung erfolgt, ist gemeinhin nicht zu vermeiden, aber diese kann man immer durch Baggern beseitigen, was in der Mündung selbst wegen des Wellenschlages nicht möglich ist.

Man muß auch den Umstand berücksichtigen, daß, wenn die Küste der Versandung oder dem Antreiben von Kies sehr ausgesetzt ist, der Strand nach und nach weiter vortritt, und sobald er die Hafenmündung erreicht hat, so ist diese in hohem Grade der Gefahr ausgesetzt, während heftiger Stürme in der kürzesten Zeit verschüttet zu werden. Zuweilen bleibt alsdann nichts übrig, als die Hafenmündung wieder weiter herauszuführen. Die beiden Seitendämme müssen alsdann verlängert und mit neuen Flügeln an ihren Enden versehen werden. Die alten Flügel, die in diesem Falle sehr störend sein würden, muß man beseitigen, dies wird aber dadurch wesentlich erleichtert, daß es im Innern des Hafens geschieht, wo man also gemeinhin ruhiges Wasser hat und

ber Maschinen jeder Art und selbst Taucher-Apparate benutzen. Es empfiehlt sich jedoch, in allen Fällen, wo solche spätere Änderungen zu besorgen sind, die Flügel in solcher Weise auszurichten, daß sie unbeschadet der erforderlichen Widerstandsfähigkeit möglichst leicht und bequem wieder entfernt werden können. Man hat daher vorzugsweise Anschüttungen von großen Steinen zu verwenden haben. Ein Project dieser Art entwarf John Rennie bereits im Jahre 1810 für den kleinen Hafen Whitehaven in Sussex, der durch den vorbeitreibenden Kies bei jedem starken Sturme gesperrt wurde. Der Vorschlag ist jedoch nicht ausgeführt worden, weil die nöthigen Geldmittel zur Darstellung der langen Hafendämme nicht beschafft werden konnten.

Manche unserer Ostseehäfen dürften kaum anders behandelt werden können, wenn sie dauernd bequem bleiben sollen. Vorschläge dieser Art sind auch bereits gemacht worden, aber die bisherige Methode, wonach die engen Mündungen nach Bedürfnis immer weiter verlängert, also die Häfen mit schmalen Hälsen von übermässiger Länge versehen werden, findet noch eifrige Verfechter, und dieses ist dieses auch das wohlfeilste Mittel, wenn man nur das gegenwärtliche Bedürfnis berücksichtigt und die großen und immer mehr hervortretenden Uebelstände unbeachtet läßt, die dabei ganz unvermeidlich sind. Man wird indessen, wenn man auch die Möglichkeit zur Verlängerung des gehörig verbreiteten Hafens nach dem bestehenden Vorschlage in Aussicht nimmt, doch immer bemüht sein müssen, diese Verlängerung entweder ganz entbehrlich zu machen, oder den Zeitpunkt, wo sie nöthig wird, möglichst weit hinauszuschieben. Hierzu dienen vorzugsweise die Anlagen, durch welche der Sand oder Kies schon in der nöthigen Entfernung vom Hafen am Strande aufgefangen und festgelegt wird (§ 26). Der Hafenbau steht hiernach in der innigsten Verbindung mit dem Uferbau.

Um ein Beispiel dafür anzuführen, daß man sehr enge Hafenmündungen bereits beseitigt und in ausgedehnte Bassins verwandelt hat, mag der in Fig. 100 gezeichnete Hafen Lowestoft erwähnt werden, der im Norden der Themse-Mündung gelegen, an dem Ufer von Suffolk auf dem Punkte ausgeführt ist, der sich an der ganzen englischen Küste am weitesten nach Osten erstreckt. Es existirte bisher hier gar kein Hafen, auch keine Flußmündung, doch befand

sich dicht hinter dem Strande ein kleiner Binnensee, der See L ing*) benannt, der etwa eine halbe Deutsche Meile lang war. Cubitt's Vorschlag wurde in den Jahren 1827 bis 1829 diese mit einer neuen Ausmündung versehen, und letztere bildete den Hafen, der jedoch nur 150 Fufs breit war, und worin Schiffe bis 10 Fufs Tiefgang selbst bei niedrigem Wasser liegen sollten. Figur zeigt in den punktirten Linien diese ältere Anlage. Am tern Ende des Hafens befand sich eine Spülschleuse, welche kleinem Wasser und namentlich zur Zeit der Springfluthen den Hafen seine Tiefe erhalten sollte, indem jener See, der bei Hoser gefüllt wurde, als Spülbassin diente. Der Fluthwechsel bei Voll- und Neumonden nahe 10 Fufs.

Wenn diese Anlage auch für einen beschränkten Verkehr sehr nützlich erwies, so stellte sie sich doch bald als nicht genügend heraus. Die geringe Räumlichkeit im Hafen, seine geringe Tiefe, und der heftige Wellenschlag bei Ostwinden forderten dringend eine Verbesserung, die auch wenige Jahrzehende als die Eisenbahn nach Norwich und Yarmouth erbaut wurde, in Ausführung kam. Die alten Hafendämme wurden beseitigt, und für ein weiter Vorhafen von 110 Ruthen Länge und 55 Ruthen Breite angelegt, dessen nach Südost gerichtete Oeffnung auf 100 Fufs Tiefe bei Niedrigwasser in Springfluthen lag und 150 Fufs weit ging. Indem man bis zu dieser Tiefe herausging, so glaubte man die spätere Verflachung nicht besorgen zu dürfen und demnach die Hoffnung entbehren zu können. Ob diese Hoffnung sich erfüllt, steht freilich dahin, man verwandelte aber jene Spülschleuse in eine Dockschleuse und dadurch wurde der See in einen geräumigen Binnen- oder Flotthafen umgebildet, in welchem der Stand des Hochwassers zurückgehalten wird.

Ein andres sehr wichtiges Erforderniß eines Hafens besteht darin, daß seine nächsten Umgebungen dem öffentlichen Verkehr frei gestellt bleiben, oder daß breite Kais ihn umgeben müssen, auf welchen das Aus- und Einladen, das zeitweise Verladen und Lagern von Producten und Gütern, so wie auch das Verladen und Beischaflen derselben mit gewöhnlichem Fuhrwerk

*) John Rennie, the theory, formation and construction of British and Foreign Harbours. London 1854. p. 288.

abahren bequem statt finden kann. Es ist unglaublich, wie Rücksicht bis zur neuesten Zeit ganz unbeachtet geblieben dadurch der Verkehr auf die empfindlichste Weise in manchen erschwert ist. Es giebt Häfen, die ihrer Wassertiefe nach von viel größerer Bedeutung sein könnten, wenn einkommenden Schiffe auf ganz kurze Ladestellen bewären und daher lange Zeit warten müßten, bis sie hier dürfen. Die Privat-Speculation hat diese Rücksichtslosigkeit sehr vortheilhaft zu benutzen gewußt, und indem die Ladeplätze verkauft wurden, so sind manche Häfen, obgleich Unterhaltung aus Staats- oder Communalfonds erfolgen dieser Weise thatsächlich Privathäfen geworden. Auch Anlagen und namentlich die fortificatorischen entziehen nicht selten und wichtige Theile der Umgebungen des Hafens dem öffentlichen ganz.

leichter Weise, wie für den Verkehr in Betreff der Waaren, muß auch für einen bequemen Ballast-Betrieb im Hafen gesorgt werden. Dieser ist jedoch sehr verschieden, je nach den commerciellen Verhältnisse entweder eine überwiegende Einfuhr oder Ausfuhr bedingen. An der Mündung der Tyne sind hohe Berge von Ballast aufgethürmt, weil die meisten der einkommenden Schiffe leer, also in Ballast einlaufen, um Kohlen zu laden. In London dagegen ist die Einfuhr überwiegend, und die Schiffe müssen daher Ballast daselbst einnehmen, der unaufhörlich der Themse gebaggert wird. In unsern größeren Seehäfen hat früherer Zeit der Ballast sehr stark sich anzuheufen, während gegenwärtig nicht selten Mangel daran sich einstellt. In Swinemore werden zur Beschaffung desselben bereits benachbarte Dünen abgebaut und zur bequemen Herbeiführung des Sandes ist eine Eisenbahn erbaut. Jedenfalls müssen die Ballastplätze unmittelbar und nicht zu weit von den Ladeplätzen für den allgemeinen Verkehr entfernt eingerichtet sein, da manche Schiffe so nahe an die Ufer kommen, daß sie ganz leer nicht sicher schwimmen, und daher in Nothständen nicht weit verholt werden können.

sonstigen Erfordernisse eines Seehafens dürfen hier nur mit wenigen Worten erwähnt werden, da die betreffenden Anlagen theils zum Hafenbau gehören, theils aber im Folgenden ausführlicher behandelt sind.

Zunächst sind die verschiedenen Vorrichtungen zum Befestigen der Schiffe zu erwähnen, und zwar eben sowol, wenn diese frei im Hafen, oder unmittelbar an den Ufereinfassungen sich befinden. Im ersten Falle sind vorzugsweise die Buoyen von Wichtigkeit. Diese bestehn aus Tonnen, oder noch besser aus großen und flachen eisernen Cylindern, die auf dem Wasser schwimmen, und mittelst starker Ketten gehalten werden. In früherer Zeit benutzte man zu ihrer Befestigung schwere und zwar einarmige Anker, die also nicht über die Sohle des Hafens vorragten, folglich auch nicht besorgen ließen, daß etwa ein Schiff dagegen stoßen könnte. Gegenwärtig werden die Ketten meist an kurze und breite Grundschrauben aus Eisen befestigt, die unter der Sohle bleiben. Außerdem sind auch vielfach die sogenannten Duc d'Alben im Gebrauche. Sie bestehn aus mehreren schräge eingerammten Pfählen, deren Köpfe über Wasser zusammenstoßen und durch Bolzen oder scharf aufgetriebene Ketten mit einander verbunden sind.

Zum Befestigen der Schiffe auf dem Ufer werden auf Letztem Schiffshalter gestellt, die meist nur aus starken Eichen-Stämmen bestehn, deren Befestigung jedoch mit großer Vorsicht erfolgen muß, damit sie bei heftigen Winden nicht durch den Zug der Ketten oder Taue umgerissen werden. Außerdem sind diese Pfähle auch sehr vergänglich und bedürfen daher einer häufigen Erneuerung. Ist der Hafen mit massiven Mauern eingefast, so werden in dieser Schiffsringe angebracht, und statt jener Pfähle gusseiserne Cylinder aufgestellt. Man verwendet dazu in vielen Fällen alte unbrauchbare eiserne Kanonen, die mit ihrer Mündung auf starken eingemauerten Zapfen stehn.

Außerdem muß dafür gesorgt werden, daß die Schiffe beim Wellenschlage nicht gegen die Mauern reiben, woher die letzteren mit vortretenden Reibehölzern in geringen Abständen versehen sind. Größere Schiffe werden auch, besonders wo einiger Fluthwechsel statt findet, gegen lange Rahmen gelehnt, deren eine Seite beim Steigen und Fallen des Wassers sich mit dem Schiffe hebt und senkt, während die andre vor den Schiffshaltern auf dem Ufer liegt.

Demnächst sind die Krähne und sonstigen Anstalten zu erwähnen, womit besonders schwere Stücke in die Schiffe, oder aus

denselben gehoben werden. Für mässige Lasten genügt der auf den Schiffen selbst leicht anzubringende Ladebaum, der den grossen Vortheil bietet, daß das Schiff nicht vor den Krahn gelegt zu werden braucht, es vielmehr an jeder beliebigen Stelle des Kais löschen oder die Ladung einnehmen kann. Kommt es darauf an, in der möglichst kürzesten Zeit die Schiffe abzufertigen, wie dieses in den Englischen Docks vielfach der Fall ist, so kann der Armstrongsche Wasserkrahn kaum noch entbehrt werden, der den grossen Vorzug vor Dampfkrahnen hat, daß seine Kraft in jeder beliebigen Zeit disponibel, und dabei so gross ist, daß er mit bewundernswürdiger Geschwindigkeit die Lasten sowol hebt, als auch seitwärts bewegt.

Wo starker Kohlenverkehr besteht, der sich in Folge der Dampfschiffahrts-Verbindungen immer mehr über alle Häfen ausdehnt, werden besondere Vorkehrungen zum schnellen Verladen der Kohlen nothwendig.

Von besonderer Wichtigkeit ist es für jeden Hafen, daß die Schiffe darin mit Allem, was zur Fortsetzung oder zum Beginne der Fahrt nothwendig ist, versehen werden können. Indem aber bei frequentem Verkehr die Anfuhrten aus der nächsten Umgebung nicht genügen, so müssen bequeme Wasser- oder Eisenbahnverbindungen mit dem Binnenlande eröffnet sein, die auch dazu dienen, die aus- oder eingehenden Güter leicht beizuschaffen oder weiter zu führen.

Unter den Gegenständen zur Ausrüstung der Schiffe für längere Fahrten ist vorzugsweise das Wasser zu berücksichtigen. In jedem Hafen muß süßes Wasser, und zwar solches, das sich lange Zeit hindurch frisch erhält, leicht zu beschaffen sein. Wo Flüsse ausmünden und kein bedeutender Fluthwechsel statt findet, ist diese Bedingung leicht zu erfüllen, anders verhält es sich aber in denjenigen Häfen, die nicht an Strom-Mündungen liegen, noch auch von höherem Terrain umgeben sind. Alsdann müssen aus gröfseren und oft aus meilenweiten Entfernungen reiche Quellen herbeigeführt werden. Es ist aber vortheilhaft, diese in Röhrenleitungen unter den Kais rings um den Hafen zu führen und sie vorher so hoch zu heben, daß man an die Ausgufsöffnungen nur Schläuche anzuschrauben braucht, um die Fässer und Tanks auf den Schiffen unmittelbar mit Wasser zu füllen. In Bremerhaven ist diese Einrichtung

bereits seit mehreren Jahren getroffen, indem auf der Geest ohnfern Bremerlehe die Quellen gesammelt und sogleich in ein hoch belegenes Bassin gehoben werden, aus dem sie unter starkem Drucke etwa eine halbe Meile weit bis zum Hafen geführt werden.

Obwohl bei lebhaftem Schiffsverkehr Anlagen dieser Art sich vollständig zu verzinsen pflegen, so scheut man doch vielfach die Kosten der ersten Einrichtung und begnügt sich sogar zuweilen mit dem Regenwasser, das von den Dächern einzelner Gebäude und Höfe in Cisternen aufgefangen wird. Dieses geschieht unter andern in Cuxhaven, wo freilich das Bedürfnis weniger erheblich ist, weil die daselbst einlaufenden Schiffe nur bei ungünstiger Witterung Schutz suchen, oder den Abgang des Eises der Elbe abwarten, also nicht leicht den Wasserbedarf für weite Reisen hier aufzunehmen brauchen.

Ferner sind Anlagen zum Ausbessern der Schiffe ein dringendes Bedürfnis für jeden Hafen. Kommt es nur darauf an, die Fugen in geringer Tiefe unter Wasser zu dichten, so braucht das Schiff nur wenig seitwärts geneigt oder gekrängt zu werden, und hierzu bedarf es keiner kostbaren Anlagen. Anders verhält es sich, wenn der ganze Rumpf des Schiffes gereinigt und bis zum Kiel herab alle Fugen gedichtet, auch wohl schadhafte Planken durch neue ersetzt werden sollen. In Häfen, die keinen Fluthwechsel haben, hilft man sich in solchem Falle gemeinhin damit, daß man das Schiff kielholt, oder es soweit auf die Seite legt, daß sein Kiel über Wasser tritt. Dabei wird indessen das Schiff ohnerachtet der darauf angebrachten Absteifungen, dennoch sehr angegriffen. Außerdem ist das Umlegen eine mühsame und zeitraubende Operation und man bedarf sehr fester Kielbänke, weil sonst das Schiff diese aushebt und sich von selbst wieder aufrichtet. Hierzu kommt endlich noch, daß bei mäßigem Wellenschlage und selbst beim Vorbeifahren eines Dampfbootes sowol das Schiff selbst, als auch die auf einem davor liegenden Flosse befindlichen Arbeiter einer nicht geringen Gefahr ausgesetzt sind, weil bei der Erschütterung die Taue leicht brechen oder die Kielbank nachgiebt.

Sobald gründliche Reparaturen vorgenommen werden sollen, muß daher das Schiff ganz aus dem Wasser gebracht werden. Wo keine andern Einrichtungen für diesen Zweck bestehn, windet man das Schiff mittelst Erdwinden und Flaschenzüge auf die Hellinge oder die geneigten Flächen auf, von denen neu gebaute Schiffe in

das Wasser herabgelassen werden. Zur Erleichterung dieser Operation stellt man auch die Schiffe auf ausgedehnte Rüstungen, die mittelst einer grossen Anzahl von Rädern auf Eisenbahnen ruhen. Solche Rüstungen werden auf der Patent-Slips so tief unter das Wasser herabgelassen, daß das Schiff, während es noch schwimmt, auf dieselben sich aufstellt und daran befestigt werden kann. Endlich erleichtert man in solchen Häfen, die keinen Fluthwechsel haben, das Aufwinden der Schiffe noch dadurch, daß jene Hellinge auf dem Ufer einige Fuß tief unter Wasser herabgeführt und, nachdem das Schiff darin ist, wasserdicht abgeschlossen und ausgepumpt werden. Andererseits kann man die Schiffe auch zwischen starken Rüstungen mittelst hydraulischer Pressen senkrecht aus dem Wasser heben, oder dieses geschieht, indem große mit Wasser gefüllte Kasten von Holz oder Eisen darunter gebracht werden. Beim Auspumpen heben sich diese mit dem darauf stehenden Schiffe. Dieses sind die schwimmenden Docks, die in neuester Zeit vielfach Anwendung gefunden haben.

In Häfen, die dem Fluthwechsel unterworfen sind, darf das Krängen und Kielholen der Schiffe nicht vorgenommen werden, auch finden dort die schwimmenden Docks keine passende Anwendung. Eben so wird auch in den daselbst eingerichteten geschlossenen Bassins oder Flotthäfen von diesen Vorrichtungen nicht leicht Gebrauch gemacht, weil durch den wechselnden Wasserstand die Trockenstellung der Schiffe außerordentlich erleichtert wird. So sah ich einst eine große Brigg, deren Tiefgang etwa 12 Fuß betrug, beim Beginn der Ebbe auf eine sehr ebene Fläche an der Westseite des Cherbourger Handelshafens sich aufsetzen. Dieselbe wurde sogleich auf beiden Seiten durch starke Bäume abgestützt und sobald das Wasser sank und die Planken nach und nach hervortraten, wurde die Reinigung sogleich begonnen, und die Wasserpflanzen und Muscheln, die sich angesetzt hatten, mit dem Kratz-eisen abgeschabt. Als endlich noch vor dem Eintritt des niedrigsten Wassers das Schiff bis auf den Kiel sichtbar wurde, war die Reinigung bereits beendigt und man zündete nunmehr auf beiden Seiten Haufen von Reisig an, um den Rumpf zu erwärmen und ihn dadurch an der Aussenfläche etwas abzutrocknen. Beim Anfange der Fluth wurde neben dem Kiele das Anstreichen mit heißem Theer begonnen und dieses so schnell rings umher fortgesetzt, daß

alle Planken gestrichen waren, bevor das Wasser sie erreichte. In dieser Weise hatte man ohne Benutzung irgend einer banlichen Anlage in der kurzen Zeit einer einzigen Fluthperiode den ganzen Körper des Schiffes gereinigt und mit frischem Theeranstriche versehen.

Auch bei der Anwendung der Hellinge und jener mit Eisbahnen versehenen Slips bietet der Wasserwechsel wesentliche Erleichterungen, vorzugsweise wird aber in solchem Falle das Trocken-Dock benutzt, das bei allen Reparaturen von Schiffen, und namentlich von grossen Schiffen, die grösste Bequemlichkeit, so wie auch andre wesentliche Vorzüge bietet. Es hat in seiner Anordnung und Construction grosse Aehnlichkeit mit einer Schiffschleuse, die jedoch an der Landseite mit keinem Ausgange versehen ist, indem die beiden Seitenmauern hier in einem Bogen sich vereinigen und das Bassin vollständig abschliessen. Das Dock liegt in solcher Höhe, dass zur Zeit des Hochwassers das auszubessernde Schiff hineingebracht werden kann, und hinter ihm wird sogleich die Eingangs-Oeffnung durch Stemmthore, oder wie gegenwärtig allgemein geschieht, durch ein passend geformtes schwimmendes Ponton abgeschlossen. Canäle, die in dem letzteren oder in den Seitenmauern angebracht sind, leiten beim Eintritt der Ebbe das Wasser ab, und indem sie später geschlossen werden, so lassen sie die folgenden Fluthen während der ganzen Dauer der Reparatur nicht eindringen. Wo der Fluthwechsel sehr bedeutend ist, entleert sich während der ersten Ebbe das ganze Dock, ohne dass dazu noch Pumpwerke benutzt werden dürften. Dieser Fall ist jedoch nicht der gewöhnliche, vielmehr ist gemeinhin noch eine Dampfmaschine daneben aufgestellt, die das zurückbleibende Wasser ausschöpft.

Die festen Mauern eines solchen Docks sind bei Reparaturen grosser Schiffe, und namentlich der Kriegsschiffe, von besonderer Wichtigkeit. Man legt daher trockne Docks auch in solchen Häfen an, wo der Fluthwechsel nur unbedeutend ist, wie etwa im Hafen Nieuwen-Diep, oder wo dieser auch ganz fehlt, wie in Carlskrona. Jedes Schiff ist nämlich gewissen Formveränderungen unterworfen, welche durch die darauf wirkenden Kräfte bedingt sind, und das grosse erleidet diese in viel grösserem Maasse, als das kleinere, weil sein innerer Zusammenhang vergleichungsweise geringer ist. So lange es schwimmt, ist es dem sehr bedeutenden Drucke des um-

gebenden Wassers ausgesetzt, dieser hört aber auf, sobald es im Trocknen steht, und die Seitenwände weichen alsdann aus, soweit die innere Verbindung es gestattet. Dieser nachtheiligen Formveränderung kann man nur durch kräftige Verstrebung begegnen. Das schwimmende Dock bietet hierzu wenig Gelegenheit, weil es an sich nicht die nöthige Steifigkeit hat. Das auf dem Helling stehende Schiff kann zwar abgesteift werden, aber dieses ist nur möglich, nachdem es bereits heraufgewunden ist. Während des Aufwindens, also während der Zeit, wo die Formveränderung schon eintritt, läßt sich diese nicht verhindern. Nur wenn das Schiff zwischen starken Seitenmauern nach und nach dem Gegendrucke des Wassers entzogen wird, bietet sich Gelegenheit, durch vielfache Absteifung gegen diese Mauern diejenige Form zu erhalten, welche das Schiff, so lange es schwamm, angenommen hatte.

Man hat in früherer Zeit auch den Versuch gemacht, in den Trocken-Docks neue Schiffe zu bauen, und dieses vorzugsweise in der Absicht, um das Ablassen vom Stapel zu vermeiden, wobei die Schiffe wegen der momentan sehr ungleichförmig eintretenden Unterstützung und wegen des heftigen Stosses beim Herabfallen ins Wasser sehr angegriffen werden, und in ähnlicher Weise leiden, als wenn sie bei heftigem Wellenschlage auf den Grund stossen. Die Erfahrung hat aber gelehrt, daß die dumpfe und feuchte Luft in den Trocken-Docks während der langen Dauer des Neubaus dem Holze überaus nachtheilig ist, und daß namentlich die Trockenfäule bei solchen Schiffen bald sich zu zeigen pflegt und ihre Dienstzeit oft nur auf wenige Jahre beschränkt. Hierzu kommt auch der Umstand, daß die großen Kosten eines Trocken-Docks sich nicht gehörig verwerthen, wenn ein solches mehrere Jahre hindurch für einen einzigen Bau in Anspruch genommen wird.

Bei jedem Hafen muß endlich auf die Einrichtung des Lootsen-Wesens Rücksicht genommen werden, wozu manche bauliche Anlagen, namentlich zur Unterbringung der verschiedenen zugehörigen größeren und kleineren Böte, der Tonnen und anderer Seezeichen u. dgl. gehören. Auch die Rettungsböte und sonstigen Rettungs-Apparate erfordern verschiedene Einrichtungen.

Eben so verlangen die Revisions-Anstalten Behufs Versteuerung der eingehenden Güter meist eine ausgedehnte Berücksichtigung. Wenn aber der Hafen mit entfernten Orten in

heissen Climates in directer Verbindung steht, so müssen noch besondere Stationen oder kleine Häfen für diejenigen Schiffe eingerichtet werden, welche unter Quarantaine liegen sollen.

§. 33.

Mäfsigung des Wellenschlages.

Die Frage, in welcher Weise der Wellenschlag in einem Hafen zu vermeiden sei, ist nicht leicht zu beantworten, weil zuweilen Erscheinungen eintreten, für die man zwar Erklärungen gegeben hat, die aber dennoch so unerwartet und so räthselhaft auftreten, daß in manchen Fällen eben die Mittel, die man zur Beseitigung des Uebels in Anwendung brachte, dasselbe sogar vermehrt haben. Die Regel, daß man die Hafenmündung nicht so legen solle, daß sie den herrschenden und heftigsten Winden entgegen gekehrt ist, läßt sich in vielen Fällen nicht berücksichtigen, und selbst wenn dieses möglich ist, so tritt bei andern Winden wieder derselbe Uebelstand ein, und oft genug zeigt es sich, daß auch Stürme, welche die Mündung des Hafens nicht treffen, dennoch einen heftigen Wellenschlag in demselben verursachen.

Ein sehr sicheres Mittel zur Mäfsigung des Wellenschlages besteht darin, daß man die Weite der Mündung vergleichungsweise zur Breite des Hafens nur sehr geringe macht. Die Wellen, welche durch die erstere eintreten, nehmen alsdann eine große Längenausdehnung an, und hierdurch vermindert sich ihre Höhe. In diesem Falle setzt sich zwar die Wellenbewegung im ruhenden Wasser seitwärts fort, durch Mittheilung der Bewegung an eine große Wassermasse schwächt sich aber die Hauptwelle, die durch die Mündung eingetreten war. Diese schreitet ziemlich gleichmäfsig fort, während die Schenkel, die sich an beiden Seiten an sie ansetzen, weiter zurückbleiben. Der Kamm der ganzen Welle bildet alsdann nicht mehr eine gerade Linie, sondern eine gekrümmte, deren hohle Seite der Mündung zugekehrt ist.

Eine solche Verengung der Mündung läßt sich augenscheinlich nur in Bassinhäfen anbringen. Wenn die beiderseitigen Hafendämme dagegen in möglichst geringem Abstände parallel gerichtet sind, so kann sie nicht eingeführt werden, weil dadurch das Einlaufen der

Schiffe zu sehr erschwert würde. Im Gegentheile geschieht es zuweilen, daß man zur Bequemlichkeit der Schifffahrt die Hafendämme an ihrem äußern Ende divergiren läßt, so daß sich trichterförmige Oeffnungen bilden, die sich einwärts verengen. Dieses ist ohne Zweifel in Betreff des Wellenschlages höchst nachtheilig, weil dadurch die einlaufende Welle verstärkt wird.

Eine Anordnung dieser Art mit der trichterförmig nach innen convergirenden Oeffnung hatte J. Rennie für den Hafen Kingstown in Irland vorgeschlagen. Die Ausführung wurde nach diesem Plane auch im Jahre 1817 begonnen, als jedoch vier Jahre darauf Rennie starb, noch ehe der Bau beendet war, so kam das Bedenken zur Sprache, ob die beabsichtigte Mündung, die nur 500 Fuß weit sein sollte, für die bei südlichen Winden einlaufenden Schiffe genügen werde. Es tritt hier nämlich der eigenthümliche Fall ein, daß gerade bei südlichen Stürmen, also wenn das natürliche Ufer dem Hafen schon Schutz bietet, die im Canale zwischen England und Irland befindlichen Schiffe der größten Gefahr ausgesetzt sind, sie können aber außerhalb des Hafens nicht bleiben, weil die Mündung des Liffey, der schon bei Dublin sich erweitert, zu sehr mit Untiefen ersetzt ist und außerdem bei Fluth und Ebbe heftige Strömungen darin sich bilden. Gewöhnlich müssen daher die Schiffe, die hier Schutz suchen, hart am Winde einsegeln und hiernach durfte die Mündung nicht zu sehr beengt werden. Man wich deshalb von dem ursprünglichen Projecte ab, welches sich in dem Zurücktreten des östlichen Hafenkopfes noch erkennen läßt, wie die Situation des Hafens Fig. 102 zeigt. Die Mündung hat die Weite von 700 Fuß Engl. erhalten.

John Rennie der jüngere tadelt in dem bereits citirten Werke über Hafenbau diese Aenderung und sagt, die in Kingstown liegenden Schiffe seien bei östlichen Winden einer augenscheinlichen Gefahr ausgesetzt. Die auf Veranlassung des Unterhauses im Jahre 1846 angestellten Untersuchungen bestätigten allerdings, daß wiederholentlich in diesem Hafen Schiffe vor den Ankern getrieben, und theils beschädigt, theils auch zerschlagen wären. Nach der Aussage des Hafenmeisters traf jedoch ein solcher Unfall niemals größere Schiffe, die mit Ankern und Ketten gehörig versehen waren, und nur kleinere Fahrzeuge mit unvollständiger Ausrüstung kamen ins Treiben und mußten, soweit die Vorräthe reichten, mit

schwereren Ankern und stärkeren Ketten versehen werden. Außerdem besagte derselbe, daß der Hafen zuweilen überfüllt gewesen und sonach die zuletzt einkommenden Schiffe nicht den nöthigen Raum fanden, um das Ankertaum hinreichend auslaufen zu lassen.

Auch in den vom Parlamente veranlaßten spätern Vernehmungen über Schutzhäfen (harbours of refuge) wurde im Jahre 1857 von Sachverständigen erklärt. Kingstown sei der gelungenste und ein ganz sicherer Hafen. Hiernach darf man wohl annehmen, daß Rennie's Urtheil nicht begründet ist, und daß dieser Hafen den Bedürfnisse wirklich entspricht, also auch die nöthige Schwächung der Wellen darin erfolgt. Nichts desto weniger hatte Rendel im Jahre 1855 den Vorschlag gemacht, die Mündung bis auf 450 zu verengen, und zu diesem Zwecke vom westlichen Hafenkopfe aus einen Flügel in süd-süd-östlicher Richtung vorzubauen.

Die in der Figur angegebenen Tiefenlinien beziehen sich auf Niedrigwasser bei Springfluthen. Es ergibt sich daraus, daß in einem großen Theile des Hafens dauernd ein Wasserstand von 24 Fuß bleibt. Der Fluthwechsel beträgt bei Springfluthen 14 Fuß und bei todten Fluthen 8 Fuß. Es dürfte angemessen sein, zur Erklärung der Figur sogleich einige andre Mittheilungen über diesen Hafen zu machen.

Die Hafendämme sind massiv, mit breiten gepflasterten Wegen an der Binnenseite. Neben diesen befinden sich Schutzmauern, an welche die äußere Dossirung sich anlehnt. Auf der Hafenseite steigen sie mit einhalbfacher Anlage an, so daß Schiffe neben ihnen liegen können. Auf dem Kopfe des östlichen Dammes bei *A* steht ein Leuchthurm. An den mit *B* bezeichneten Stellen befinden sich Treppen zum Einsteigen in Böte. Sie sind in Nischen der Mauern angebracht, treten also nicht vor die letzteren vor. *C* ist das Kai, an welches die Dampfböte anlegen, die namentlich mit Liverpool und Holyhead mehrmals an jedem Tage die Verbindung unterhalten. Dicht daneben befindet sich die Station der Eisenbahn, die nach Dublin führt. *D* ist ein Hafen für Böte, *E* das Kai für Handelschiffe, und *F* der alte Hafendamm, der den kleinen Hafen von Dockary mündungsförmig schützte, der in früherer Zeit hier allein existierte, und jetzt durch die Eisenbahn durchschnitten wird. Das alte Kingstown entstand erst mit dem neuen Hafen. Der bestehende Mangel bezieht sich wohl auf ein hinreichend ausgedehntes

Bei oder Werft, an welches tiefgehende Schiffe anlegen können. Ein solches ist augenscheinlich nur an der östlichen Seite zu erbauen, weil hier allein die nöthige Tiefe vorhanden ist. Vorschläge dazu sind mehrfach und unter andern auch von Rendel gemacht.

Demnächst läßt sich der Wellenschlag in einem Hafen auch dadurch schwächen, daß man einen isolirten Damm vor die Mündung legt. Dieses Mittel ist indessen nicht nur sehr kostbar, sondern man kann dadurch auch leicht Veranlassung zu höchst gefährlichen Versandungen geben, während andererseits dadurch die sehr wünschenswerthe Gelegenheit geboten wird, daß die Schiffe nach der jedesmaligen Richtung des Windes beim Ein- und Aussegeln den einen oder den andern Weg wählen können, was unbedingt von großem Nutzen ist. Außerdem wird hierdurch auch der von diesem Damme umschlossene Theil des Meeres geschützt, oder es wird vor dem Hafen eine Rhede gewonnen, auf der die Schiffe sicher ankern können. In der letzten Beziehung betreffen Anlagen dieser Art nicht sowol den eigentlichen Hafen, als die Rhede, und es empfiehlt sich daher, bei Gelegenheit der letzteren diese isolirten Werke, die man Wellenbrecher nennt, zu behandeln.

Am heftigsten pflegt der Wellenschlag immer in langgestreckten Häfen zu sein, die sich im Innern gar nicht oder nur wenig erweitern. Auf einige hundert Ruthen Länge setzt sich in ihnen die Bewegung fort, und selbst Krümmungen, die man darin anbringt, oder die der natürliche Flußlauf schon hatte, sind dabei von keinem merklichen Einflusse, wenn die nöthigen Abrundungen der Ufer statt finden, welche die Schifffahrt fordert.

Sehr wichtig sind in dieser Beziehung die Erfahrungen, die man in dem Hafen la Ciotat machte, der nahe in der Mitte zwischen Marseille und Toulon liegt. Derselbe ist in sofern von gro-ßer Bedeutung, als hier die kaiserlichen Werfte für die Postdampfschiffe befindlich sind, und sowol die Herbeischaffung des Materials, als die Unterhaltung der zahlreichen Arbeiter einen lebhaften Verkehr hervorgerufen hat, der durch die Dampfschiffe noch vermehrt wird, die hier erbaut oder reparirt werden.

In der felsigen Küste, die im Allgemeinen von Westen nach Osten streicht, bildet sich eine Bucht, Baie de la Ciotat, die etwa 1 Deutsche Meile lang und $\frac{1}{2}$ Meile breit ist. Dieselbe ist großentheils 60 und im vorderen Theile sogar über 100 Fuß tief. Auf

der westlichen Seite wird sie durch das Vorgebirge *Bec de l'Aigle* begrenzt, vor dem in geringer Entfernung noch die Felseninsel *Is Verte* liegt. Etwa $\frac{1}{4}$ Meile im Norden von dem benannten Vorgebirge befindet sich der Hafen und das Städtchen *la Ciotat*. Fig. 103 zeigt die Situation des ersteren. Er wurde ursprünglich auf der Nordseite nur von den natürlichen Felsen, worauf das Fort *Bérart A* erbaut ist, begrenzt, während der Hafendamm *B* die Schiffe vor südöstlichen Stürmen sicherte. Der nutzbare Raum hatte indessen zu geringe Ausdehnung, da nordwärts von der punktirten Linie der Hafen noch gegenwärtig nur sehr geringe Tiefe hat und die Felsen hier zum Theil sogar über das Wasser treten. Es wurde demnach ein zweiter Hafendamm *D* aufgeführt, den man etwas über die Richtungslinie des Ufers hinaustreten liefs, um das Einlaufen der Wellen bei starken südlichen Winden zu verhindern. Was die hierdurch erreichte Vergrößerung des Hafens betrifft, so zogen von dieser nur die kaiserlichen Werfte Vorthail, die zwischen den beiden erwähnten Hafendämmen bei *C* eingerichtet sind.

Obwohl durch diesen Neubau bei südlichen Stürmen die Wellen vom Hafen abgehalten wurden, so fand dieses doch nicht bei östlichen Winden statt. Die Bucht von *Ciotat* hat freilich, wie erwähnt, keine bedeutende Ausdehnung in östlicher Richtung, aber gerade diese Winde treten im Mittelländischen Meere mit besonderer Heftigkeit auf, und die weite Mündung *AD* mußte daher zum Theil geschlossen und gedeckt werden. Dieses geschah, indem man nunmehr den Hafendamm *AE* ausführte, der zugleich einige Felsen überdeckte, die bisher den einlaufenden Schiffen gefährlich gewesen waren.

In solcher Weise hatte man freilich den Hafen gegen die östlichen Winde geschützt, aber nunmehr liefen wieder bei südlichen Winden die Wellen sehr stark ein. Während diese früher theils auf den Klippen gebrochen und theils vor dem Hafen vorbeigegangen waren, so fing gegenwärtig der Kopf *E* sie auf und sie setzten sich mit ungeschwächter Kraft in der regelmäßigen Concave *EA* fort, verfolgten alsdann noch eine Strecke weit das nördliche Ufer, hier trafen sie aber auf ein Felsenriff, das sie von neuem ablenkte und sie gegen das westliche Ufer trieb, wo sie gerade an der Stelle, wo die Handelsschiffe allein liegen konnten, eine so heftige Bewegung veranlaßten, daß hier vielfach bedeutende Havarien vorkamen.

hier anlaufenden Wellen bewegten sich nicht nur westlich, sondern sogar südwestlich, ihre Richtung, die vor dem Hafen nördlich war, hatte sich also um mehr als einen Quadranten geändert.

Minard erwähnt*) zweier Vorschläge, die zur Abstellung dieses Uebelstandes gemacht wurden, nämlich es solle entweder dem Damme gegenüber vom nördlichen Ufer aus noch ein anderer Damm in den Hafen geführt, oder die Mündung *ED* durch schwimmende Wellenbrecher geschützt werden. Der letzte Vorschlag ist wirklich zur Ausführung gekommen, wie ich bei meiner Anwesenheit

Ciotat erfuhr, und wenn dieser Versuch auch vollständig mißglückt ist, so dürfte eine nähere Bezeichnung desselben sich doch rechtfertigen, insofern ähnliche Vorschläge sehr häufig auftauchen. Vor etwa 20 Jahren reiste ein Engländer mit grossen Modellen von schwimmenden Wellenbrechern umher und versuchte, seinen Erfindungen im Auslande Eingang zu verschaffen. Das Wesentliche dabei war, daß eine grosse Anzahl von Hölzern durch den damals fundenen Seeleim (*marin glue*) zusammengeklebt vor den Hafeneinführungen an starken Ankerketten schwimmen sollten. Daß dieselben, wenn sie tief herabreichen und hinreichende Längenausdehnung haben, den Wellenschlag mässigen würden, leidet wohl keinen Zweifel, da dieses schon hinter grossen Schiffen in auffallender Weise geschieht. Die Schwierigkeit, dieselben so zu befestigen, als sie beim Gegenschlage der Wellen, von denen sie sogar auf der langen Seite getroffen werden, nicht forttreiben, mußte sich indessen wohl sogleich herausstellen, auch mußte man bei der Verflüchtigkeit des Materials auf sehr grosse Beschädigungen in kurzer Zeit sich gefaßt machen. Nichts desto weniger ist hier dennoch ein Versuch damit gemacht worden. Es wurden grosse Balken von 1 Meter Querschnitt und 20 Meter Länge gebildet. Ob jener Leim dabei angewendet worden, konnte ich nicht erfahren, mir wurde nur erzählt, daß eine grosse Menge eiserner Bolzen dabei benutzt sei. Diese Balken sollten so schwimmen, daß die Diagonalen ihrer Querschnitte vertikal und horizontal gerichtet waren. Zu diesem Zwecke wurden auf eine Kante in geringem Abstände eine Menge Querbalken von gewöhnlichen Dimensionen eingelassen und

*) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer, par H. Minard. Paris 1846. pag. 28.

durch Bolzen befestigt, wie Fig. 104, *a* und *b* im Durchschnitte und in der Seitenansicht zeigt. Zwölf Stück solcher Flöße wurden nach Fig. 105 in zwei Reihen ausgelegt, so daß die Zwischenräume der einen Reihe durch die Flöße der andern gedeckt wurden. Die punktirten Linien bezeichnen die Ketten, die theils die Flöße unter sich und theils mit schweren Ankern verbanden. Jedes Ende eines jeden Floßes war durch drei Ketten gehalten.

1846 legte man die Flöße aus, eine Schwächung des Wellenschlages war nicht zu bemerken, aber wohl gaben bei dem ersten Sturme die Anker nach, auch zerrissen einige Ketten, und es machte nicht wenig Mühe im Frühjahr 1847, die Wellenbrecher wieder an ihre Stelle zu bringen und gehörig zu befestigen. Im nächsten Winter wurde dagegen Alles zerstört, und die Flöße trieben theils fort, theils strandeten sie in der Nähe, dabei zerbrachen sie aber in mehrere Stücke. Letzteres war vorzugsweise durch den Seewurm veranlaßt, der in diesen Holzmassen zu einer bisher ganz unbekannten GröÙe sich ausgebildet hatte. Man fand einzelne Würmer, die einen Daumen stark und 2 Meter lang waren. Jedes Floß mit zugehörigen Ketten hatte 26000 Frcs. gekostet.

Der von Minard erwähnte Hafendamm, der am nördlichen Ufer aus, dem Damme *B* entgentreten sollte, ist nicht zur Ausführung gekommen, dagegen hat man an den südlichen Hafenkopf *D* noch den gekrümmten Flügel *DF* angebaut, der das Einlaufen der Wellen bei südlichen Winden verhindert, also dem Hafen gegenwärtig die nöthige Sicherheit wirklich giebt. Die Mündung ist nunmehr 287 Fuß breit. Die Tiefe darin mißt $18\frac{1}{2}$ Fuß, im Hafen selbst dagegen nur $14\frac{1}{2}$ Fuß. Die Einfahrt wird durch zwei rothe Feuer auf beiden Köpfen *E* und *F* bezeichnet. Ein höherer Thurm, der früher als Küstenfeuer diente, steht im Norden des Punktes *A*, man benutzt denselben aber nicht mehr, weil es vorgekommen ist, daß ein Schiff zwischen diesem und dem Feuer *E* die Mündung suchte und dabei strandete. Als ich im Jahre 1857 dort war, hatte man angefangen, die im Hafen liegenden Felsbänke zu sprengen und die dazwischen liegenden Kiesmassen durch Baggern zu entfernen.

Zuweilen treten die Wellen sehr stark in Häfen ein, wenn auch die Mündungen derselben vom Winde gar nicht getroffen werden. Minard führt eine Anzahl von Beispielen an, daß Häfen an der Französischen Küste einem heftigen Wellenschlage ausgesetzt wer-

wenn der Wind, der denselben veranlafste, parallel zum Ufer gerichtet ist, oder sogar über das letztere in den Hafen tritt. Diese Erscheinung darf nicht befremden, denn wenn die Wellen auch an der Mündung des Hafens vorbeistreichen, ohne ihn zu treffen, als dennoch, so oft ein oberer Scheitel der Welle vorübergeht, eine große Wassermasse in den Hafen hineinstürzen, und sie wird mit gleicher Heftigkeit ausfließen, wenn ein unterer Wellentheil davor liegt. Berücksichtigt man dabei noch, daß der Druck der einen oder der andern Seite sich jedesmal bis auf den andern fortsetzt, so sind in solchem Falle die Verhältnisse sehr dieselben, wie in der Wellenrinne, in welcher ich durch Hinterstoßen der Scheibe die Wellenbewegung veranlafste (§ 3). Es ist jedoch sehr zu bezweifeln, ob in irgend einem der Fälle, die Minard anführt, die Wellen wirklich parallel zur Küste sich bewegen, so daß ihre Kämme normal gegen die letztere gerichtet sind. Jedenfalls wäre dieses nur möglich, wenn die Küste aus großer Tiefe sich ganz steil erhebt, und selbst alsdann möchte ein Theil der Welle, der sich neben dieser befindet, doch eine Verzögerung erleiden, wodurch die Richtung der Bewegung verändert wird. Vor Ufern, die eine flache Dossirung unter Wasser haben, oder wo ausgedehnte Untiefen noch davor liegen, werden die Wellen, wie schon früher (§ 1) erwähnt, die Wellen sowohl in der Richtung ihres Kammes, als in der Richtung ihrer Bewegung, in der auffallendsten Weise verändert. Wenn ein heftiger Wind in der Richtung eines solchen Ufers weht und daher in der offenen See die Wellen gleichfalls derselben folgen, so wird man am Ufer selbst doch niemals bemerken, vielmehr sieht man immer, daß die Kämme der Wellen beinahe parallel zum Ufer, also daß die fortschreitende Bewegung der Wellen beinahe normal gegen das Ufer gerichtet ist. Dieses erklärt sich dadurch, daß die Geschwindigkeit der Wellen innerhalb gewisser Grenzen durch die Wassertiefe bestimmt ist, und hierzu kommt noch, daß ohne Zweifel auch der Wind in der Nähe des Ufers geschwächt wird. Aus beiden Ursachen wird der Kamm jeder Welle in der Nähe des Ufers immer mehr gekrümmt gegen die weiter entfernt liegenden Theile desselben Kammes, bis er endlich eine Krümmung annimmt, die nahe einen Quadranten umfaßt. Mit Rücksicht auf diese Erscheinung, die ohne Zweifel bei der Mehrzahl der von Minard angeführten Beispiele

gleichfalls eintritt, insofern dieselben sich meist auf flache Ufer beziehen, die bei der Ebbe auf groſse Breiten trocken werden, braucht man auf jene Erklärung über die seitliche Fortsetzung der Wellen gar nicht zurückzugehn. Die Wellen werden vielmehr nahe in derselben Weise in den Hafen eintreten, als wenn der Wind der Mündung zugekehrt wäre. Es ergiebt sich aber, daſs auch in diesem Falle Einbaue oder Steindämme, die man auf der Windseite vor der Mündung des Hafens ausführt, den nächsten Theil des Wellenkammes abhalten und dadurch die Bewegung im Hafen schwächen. Ihre Wirkung ist aber jedesmal um so gröſser, je länger sie sind.

Mit den von Minard erwähnten Erscheinungen steht der Wellenschlag in naher Beziehung, den man in neuerer Zeit in dem Hafen von Pillau bemerkt. Die Mündung dieses Hafens befindet sich in dem nördlichen Ufer des Tiefes, welches das Frische Haff mit der Ostsee verbindet. Es tritt jedoch kein Hafendamm vor das Ufer vor, vielmehr bleibt die Mündung hinter demselben noch zurück. Bei westlichen Stürmen setzten die Wellen aus der See sich zwar immer bis in das Tief fort, doch verloren sie beim Uebergange über die Untiefen so sehr an Kraft, daſs sie den Hafen nicht beunruhigen konnten. Bei starken südlichen Winden traten jedoch in früherer Zeit die Wellen aus dem Elbinger Haff in ihn ein, und belästigten so sehr die darin liegenden Schiffe, daſs im Jahre 1829 von der östlichen Seite ein Flügel herausgebaut wurde, der die Mündung bis auf das äufserste zulässige Maafs beengte. Die Klagen über Wellenschlag im Hafen hörten nunmehr vollständig auf, bis im Frühjahr 1854 bei der ungewöhnlich starken Entwässerung des Frischen Haffes, das durch die Nogat die ganze Weichsel aufnahm, ein sehr tiefes Fahrwasser sich vor Pillau bildete. In früherer Zeit hatte man selten 12 Fufs im Seegatt gehabt, damals vertiefte sich dasselbe auf 25 Fufs. Eine Folge davon war aber die verstärkte und, wie gesagt wird, sogar gefährliche Wellenbewegung im Hafen zur Zeit der westlichen Stürme. Die Wellen aus der See laufen jetzt in bedeutend gröſserer Höhe, als bisher, in das Tief ein, indem sie aber an dem nördlichen Ufer des letzteren vorbeistreichen, das eine groſse Tiefe vor sich hat und mit einem steilen Bohlwerk eingefasst ist, so verursachen sie in der Hafenmündung diejenigen abwechselnden Schwingungen, welche die Wellenbildung hier veranlassen. Diese seitliche Uebertragung des Wellenschlages hat sich

er auch hier sehr auffallend gezeigt, seitdem die vorbeilaufenden Wellen stärker geworden sind.

In manchen Häfen giebt es einzelne Stellen, wo eine sehr starke Wellenbewegung sich zeigt, ohne dafs man gleich hohe Wellen bemerken kann, die von der Mündung aus sich hieher bewegen. Dieses sind sehr kurze Wellen, die ausserdem noch die Eigenthümlichkeit haben, dafs sie sich nicht seitwärts bewegen, vielmehr ohne ihre Stelle zu verändern, sich nur abwechselnd heben und senken. Ohne Zweifel hängt diese Erscheinung mit derjenigen zusammen, die Weber in elliptischen Gefäfsen beobachtete, die mit Quecksilber gefüllt waren. Wenn in den einen Brennpunkt ein Tröpfchen herabfiel, so liefen die niedrigen concentrischen Wellen wieder dem zweiten Brennpunkte zu, und indem sie sich hier vereinigten, so schollen sie zu einer viel gröfseren Höhe an (§ 1). Hätte ein Hafen ganz regelmäfsig die Form einer Parabel, so würden die parallel zur Achse einlaufenden Wellen sich in dem Brennpunkte vereinigen und hier eine sehr grofse Höhe erreichen. Es kann aber auch bei unregelmäfsiger Form leicht geschehn, dafs von mehreren Uferstellen aus die Wellen nach demselben Punkte hin zurückgeworfen werden, und daher hier eine ähnliche Erscheinung sich zeigt.

Um die Wellen im Hafen zu mäfsigen, hat man zuweilen eine eigenthümliche Vorkehrung angewendet, die man namentlich in einigen Französischen Häfen am Canale ausgeführt hat. Die Erfindung rührt von dem älteren Lamblardie her, und besteht darin, dafs an geeigneten Stellen die Hafen-Einfassung durch ein Pfahlwerk gebildet wird, wozwischen freie Oeffnungen gelassen sind, durch welche die Wellen hindurchtreten können. Dieselben gelangen auf diesem Wege in Seitenbassins, denen grofse Ausdehnung gegeben wird, deren Boden aber rückwärts mit sehr flacher Böschung bis über Wasser ansteigt. Die einlaufende Welle trifft dieses durchsichtige Pfahlwerk (*claire-voie*), und an jedem einzelnen Pfahle findet sie einen gewissen Widerstand, der eine kleine rücklaufende Welle erzeugt. Ausserdem tritt eine starke Welle in das Bassin ein und verfolgt dasselbe bis an sein Ende. Auf dem ansteigenden Grunde schwächt sie sich aufs Neue, doch bildet sie gleichfalls eine rücklaufende Welle, die ihren Weg bis in den Hafen fortsetzt. Die verschiedenen Verluste der lebendigen Kraft, so wie auch die rück-

laufenden Wellen, die ganz zufällig die folgenden treffen, schwächen sie ohne Zweifel und gewiß geschieht dieses am vollständigsten, wenn das durchsichtige Pfahlwerk an der concaven Seite einer starken Krümmung angebracht ist.

In der größten Ausdehnung findet man diese durchsichtigen Wände in dem Hafen von Dieppe, dessen Situation Fig. 106 zeigt. Zur Zeit der Springfluthen beträgt hier der Fluthwechsel 28 Fuß, das Niedrigwasser fällt alsdann so tief, daß der Vorhafen größtentheils trocken ist, und die Mündung sogar durch eine über Wasser liegende Bank ganz gesperrt wird. Die punktirten Linien zeigen die Grenzen des Niedrigwassers zur Zeit der Springfluthen.

Von den Spülvorrichtungen, welche die Figur zeigt, wird später die Rede sein, hier handelt es sich nur um den Wellenschlag, der um so gefährlicher ist, als die einkommenden Schiffe, während sie der vollen Wirkung desselben ausgesetzt sind, die scharfe Wendung um die vortretende Ecke *D* machen müssen. Diese unregelmäßige Gestalt hat der Vorhafen dadurch erhalten, daß er seit dem Jahre 1600 nach den jedesmaligen localen Verhältnissen, also keineswegs nach einem vorher bestimmten Plane, um 133 Ruthen verlängert worden ist. Seine Mündung war früher nahe vor der jetzigen Spülschleuse. Schon im vorigen Jahrhunderte wurde die durchsichtige Pfahlwand *C* ausgeführt. Dieselbe beseitigte indessen keineswegs die Uebelstände, vergrößerte sie vielmehr noch wesentlich, weil die eintretende Welle an dieser sehr engen Stelle, deren Breite nur 13 Ruthen mißt, plötzlich seitwärts abläuft, und das Schiff in einer tiefen Rinne zurückkläfst, wo es bei den verschiedenartigen Bewegungen des Wassers gemeinhin die Steuerung verliert. In den Jahren 1838 und 1839 wurde die wesentliche Verbesserung eingeführt, daß man die Ecke *D* abgrub, sie aber dennoch in ihrer früheren Form mit durchsichtigen Pfahlwänden umgab, um die Wellen nicht mit noch größerer Gewalt in den hintern Theil des Vorhafens eintreten zu lassen. Gleichzeitig wurde auch der rechteckige oder östliche Hafendamm aufs Neue verlängert und die durchsichtige Pfahlwand *B* nebst zugehörigem Bassin in demselben erbaut.

Wenn hierdurch die Wellenbewegung im innern Hafen sich auch etwas verminderte, so trat dennoch dicht neben der Mündung wieder dieselbe Gefahr für die Schiffe ein, wie früher neben der Ecke *D*, weil auch hier die Wellen nur nach einer Seite sich an-

reiten konnten. Dieses war aber um so bedenklicher, als die Schiffe in dem Augenblicke, wo sie in den Hafen einliefen, und vielleicht noch von der Küstenströmung getroffen und durch diese abgelenkt wurden, die sichere Steuerung verloren. Aus diesem Grunde wurde 1857 noch neben dem Leuchthurme *E* eine vierte durchsichtige Wand bei *A* eingerichtet.

Die Construction dieser letzten Wand, die in den wesentlichsten Theilen mit den ältern durchsichtigen Wänden übereinstimmt, zeigt Fig. 107, *a* und *b*. Eine Bétonschüttung, die bis zum Niedrigwasser der Springfluthen ansteigt, wurde zwischen Spundböden dargestellt. Der Untergrund, der etwa 12 Fuß hoch mit Kies überdeckt war, bestand aus Kreide, in welche die Pfähle zwar etwas eindringen, jedoch keineswegs ganz fest darin standen. Hierüber ist ein 12 Fuß hohes Mauerwerk aufgeführt, welches die durchsichtige Wand trägt. Letztere besteht aus einzelnen Bindern, die 12 Fuß Abstand von einander aufgestellt sind. Die Anordnung derselben ergibt sich aus Fig. 107, *a*. Sie werden, ehe man sie aufstellt, in sich vollständig verbunden, woher ihre Aufstellung oder Erneuerung in sehr kurzer Zeit erfolgen kann. Zu ihrer Befestigung dienen zunächst die beiden rückwärts strebenden doppelten Zangen, die besonders beim Gegenstoßen der Schiffe sehr in Anspruch genommen werden. Sie sind an die beiden Stiele des Binders und außerdem an zwei Pfähle gebolzt, die hinter dem Mauerwerk durch den Kies bis zur Kreide gerammt sind. Unter sich sind die Binder zunächst durch einen über ihre Schwellen, und zwar vor die vorderen Stiele, gelegten Längsbalken verbunden, der mit Spitzbolzen an die Schwellen befestigt ist. Außerdem sind in die Binder Rahme drei Brückenbalken verkämmt. Eine Verstrebung nach der Länge fehlt und ist auch nicht erforderlich, weil die durchsichtige Wand an beiden Enden sich gegen Mauern von derselben Höhe abstützt. Ueber den Brückenbalken liegen Bohlen, und da diese zuweilen von den Wellen erreicht werden, so sind sie mit weiten Fugen verlegt, und werden durch zwei andre Balken an den Seiten gehalten, die mit den darunter befindlichen durch Schraubenbolzen verbunden sind. An der Hafenseite liegt auf diesem obern Balken noch ein dritter, dessen Kanten abgerundet sind. Auf diesem liegen beim Ein- und Ausholen der Schiffe die Taue auf. Gegenüber befindet sich ein hölzernes Geländer.

Die Binder stehn soweit auseinander, daß sie die hindurchlaufenden Wellen noch nicht hinreichend schwächen. In die Zwischenräume sind daher jedesmal noch zwei starke Hölzer gestellt, wie Fig. 107, *b* zeigt. Letztere lehnen sich sowol oben, als unten, gegen die bereits erwähnten Balken und sind mit beiden verbolzt.

Die Bassins hinter den durchsichtigen Holzwänden haben verschiedene Breiten. Die Zeichnung stellt ein solches von 100 Fuß Breite dar, dessen Sohle rückwärts 12 Fuß ansteigt, so daß sie neben der hintern Mauer nur 3 Fuß unter dem Hochwasser der Springfluthen bleibt, oder die Höhe der gewöhnlichen Fluthen erreicht. Diesem Höhen- und Breiten-Verhältnisse dürften sich durchschnittlich die vorhandenen Anlagen anschließen. Die geneigte Fläche, auf welche die Wellen auflaufen, ist mit einem Pflaster aus roh bearbeiteten Steinen bedeckt, das auf eine Unterlage von sehr grobem Kiese möglichst dicht schließend versetzt und fest abgerammt ist.

§. 34.

Die Rhede.

Es ergibt sich aus den bisherigen Mittheilungen, daß die Häfen nicht immer für alle Schiffe zngänglich sind, daß vielmehr entweder ein passender Wind, oder ein hinreichender Wasserstand oder auch der Anbruch des Tages abgewartet werden muß, ehe das Schiff einkommen kann. Vielfach ereignet es sich auch, daß die Tiefe in der Hafenmündung für die beladenen Schiffe nicht genügt und diese daher zuvor durch Lichterfahrzeuge soweit entladen werden müssen, daß sie die Barren vor den Häfen passiren können. In allen diesen Fällen ist ein Ankerplatz vor dem Hafen nothwendig, den man die Rhede nennt. Von demselben wird aber noch vielfach in andrer Art Gebrauch gemacht. So geschieht es nicht selten, daß der Führer des Schiffes angewiesen wird, Häfen anzulaufen, in welchen die Frachten noch nicht bestimmt abgeschlossen sind, wo also die Einnahme von Gütern nicht sicher erwartet werden kann. In diesem Falle würde es sich nicht rechtfertigen, das Schiff vielleicht vergeblich ein- und bald darauf wieder hinauszubringen, was mit Zeitverlust und mancherlei Kosten verbunden wäre. Bei günstiger Witterung bleibt daher das Schiff auf der Rhede,

und der Capitän führt im Boote nach dem Hafen, um die nöthigen Erkundigungen einzuziehn. Endlich dient die Rhede auch zum Sammelplatz der Schiffe, wenn mehrere derselben, oder eine ganze Flotte gemeinschaftlich ausgehn soll. Diese Rücksicht ist vorzugsweise bei einem Kriegshafen von überwiegender Wichtigkeit, aber auch Handelsschiffe, die zu Kriegs-Zeiten unter dem Schutze einer Fregatte, um gegen feindliche Kaper-Schiffe gesichert zu sein, gemeinschaftlich fahren, müssen vor dem Auslaufen sich sammeln, und dieses kann nicht im Hafen selbst geschehn, weil das Ausbringen der einzelnen Fahrzeuge so zeitraubend wäre, daß sie gleich anfangs schon zerstreut würden.

Aus allen diesen Gründen ist die Rhede ein nothwendiges Erforderniß für jeden Hafen, doch kann die Kunst zur Darstellung einer solchen nur selten beitragen, weil die betreffenden Anlagen übermäßig kostbar sind. Es giebt wohl kein Beispiel, daß man eine ganz neue Rhede künstlich geschaffen hätte, und nur in wenigen Fällen hat man eine solche, die schon durch die Natur gebildet war, durch bauliche Anlagen wesentlich verbessert. Insofern ein Hafen sich am leichtesten an der Mündung eines Stromes oder in einer tieferen Bucht einrichten läßt, so findet sich auch gemeinlich vor demselben ein mehr oder weniger geschützter Ankerplatz, der als Rhede dient.

Das dringendste Erforderniß für einen solchen ist ein guter Ankergrund, in den der Anker leicht eingreift und dennoch den nöthigen Widerstand darin findet. Ein nicht gar zu strenger Thonboden ist hierzu am meisten geeignet, weil derselbe bei starkem und anhaltendem Wellenschlage sich weniger auflockert, als reiner Sand. Der letzte bietet indessen gleichfalls dem Anker einen festen Halt, wenn die Wassertiefe hinreichend groß ist, so daß die Wirkung der Wellen auf denselben sich schon sehr mäßigt, oder beinahe ganz aufhört. Wenn jedoch größere Tiefen unmittelbar davor liegen, so ist die Abstillung weniger zu erwarten, und der Boden wird daselbst leichter aufgelockert. Im Schlamm haften die Anker sehr wenig, und schon bei mäßigem Winde und Wellenschlage kommen die davor liegenden Schiffe ins Treiben. Auf Felsen, deren Oberfläche ziemlich eben ist, greift der Anker gar nicht ein, und dieses geschieht auch nicht auf sehr grobem Kiese, während auf klüftigem Gesteine derselbe wohl faßt, aber nicht leicht

wieder gelöst werden kann. Der Felsboden ist außerdem noch insofern sehr gefährlich, als das Ankertau darauf leicht durchschritten wird. Um dieses zu verhindern, ist man zuweilen gezwungen, noch Schwimmer daran zu befestigen, die das Tau, soweit seine Spannung dieses gestattet, etwas von dem Boden aufheben und es darüber schwebend erhalten.

Ein anderes Erforderniß des Grundes ist, daß derselbe rein ist, und nicht etwa Gegenstände daraus hervorragen, welche das Tau oder die Kette fassen, während das Schiff bei einer Aenderung des Windes oder Stromes eine andre Lage gegen den Anker annimmt. Sollte dieses geschehn, so würde das Schiff sich nicht mehr gegen den Anker, sondern gegen diesen Gegenstand stellen, es würde ein Scheuern des Taus eintreten, letzteres müßte in seinem freien Theile sich auch verkürzen, und bei weiterer Aenderung der Lage des Schiffes würde das Tau oder die Kette vollends den fremden Gegenstand umschlingen, und es wäre unmöglich, den Anker später wieder zu lichten. Bei Gelegenheit der Beseitigung verschiedener Schiffahrtshindernisse von dem Boden der Strombettes (im II. Theile dieses Handbuches § 92) ist bereits erwähnt worden, daß die Rhede vor Pillau früher durch eine Menge Schiffanker sehr gefährdet war, daß diese aber nach und nach vollständig fortgeschafft wurden. Die dabei angewendeten Verfahrensarten sind ausführlich beschrieben worden. Viel schwieriger sind Schiffswracke zu beseitigen, die oft noch nachtheiliger werden, als einzelne Anker.

Was die Wassertiefe betrifft, in der die Schiffe vor Anker gehn, so hängt dieselbe vorzugsweise von der Witterung ab. Bei schwachem Winde und Wellenschlage und wenn das Schiff voraussichtlich nur kurze Zeit auf der Rhede bleibt, so nähert es sich so weit dem Strande, daß es nur etwa 1 Faden Tiefe unter dem Kiel behält. Sollte jedoch ein Sturm ausbrechen, wobei die Wellen solchen hohen Grund sehr stark angreifen und auflockern, so würde der Anker bald lose werden und das Schiff ins Treiben kommen. Insofern die Wellen aber jedesmal nach dem Ufer sich bewegen und in ihrer Richtung auf das Schiff stoßen, so befände sich das letztere alsdann in sehr gefährlicher Lage und man müßte suchen, es schleunigst unter Segel zu bringen. Weht aber, wie bei heftigem Wellenschlage fast immer geschieht, der Wind von der See-

nte, so ist es oft wegen des unvermeidlichen anfänglichen Treibens oder auch wegen der Höhe der Wellen nicht möglich, hart an dem Winde aufzukommen, und die Strandung ist alsdann unvermeidlich. Hiernach ist es immer räthlicher, das Schiff, selbst bei günstiger Witterung, auf tieferem Wasser vor Anker zu bringen. Vor Pillau pflegte dieses auf 5 bis 6 Faden zu geschehn. Für große Schiffe genügt jedoch selbst diese Tiefe noch nicht. Wenn die Schiffe aber mit Tauen oder Ketten hinreichend versehen sind, so ankern sie zuweilen noch in der Tiefe von 40 Faden.

Es wurde schon oben (§ 31) darauf hingewiesen, daß der Anker nur faßt, wenn das Tau oder die Kette hinreichende Länge hat, damit eines Theils der Zug nicht etwa aufwärts, sondern nahe horizontal ausgeübt wird, andrer Seits gewinnt aber das Tau in Folge der größeren Länge auch mehr Elasticität, so daß beim Anlaufen der Welle an das Schiff diesem die Gelegenheit geboten wird, etwas zurückzuweichen, bevor das Tau vollständig gespannt ist. Die Ankerketten wirken dagegen in gleicher Weise durch ihr größeres Gewicht. Sie legen sich auf den Grund auf, sobald die Spannung etwas nachläßt, und wenn das Schiff wieder zurückgestoßen wird, so erheben sie sich und ziehen sich gerade aus. Sieht man ein Schiff vom Ufer aus vor Anker liegen, so bemerkt man mittelst eines fest aufgestellten Fernrohrs sehr deutlich, daß es keineswegs immer an derselben Stelle bleibt. Schon bei mäßigem Wellenschlage pflegt es in derselben Periode, in welcher die Wellen einander folgen, fortwährend um 1 bis 2 Fuß vor- und zurückzugehn. Bei heftigen Stürmen dehnte sich aber auf der Pillauer Rhede diese Bewegung bis auf 6 Fuß aus.

Durch dieses Nachgeben des Taus oder der Kette wird das Liegen auf der Rhede außerordentlich erleichtert, indem dadurch die heftigsten Stöße vermieden werden. Erfahrene Seeleute sagen, daß wenn bei sehr unregelmäßigem Seegange zwei besonders hohe Wellen einander in so kurzer Zwischenzeit folgen, daß die zweite das Schiff in demselben Augenblicke schon trifft, wo die erste das Tau vollständig ausgezogen hat, daß alsdann der Bruch des letzteren unvermeidlich sei. Ein solches Zusammentreffen soll indessen glücklicher Weise sehr selten sein. Gewöhnlich geschieht es, daß das Schiff den Stoß empfängt, während es in Folge der früheren scharfen Anspannung des Taus, oder durch das Gewicht der schwe-

benden Kette schon nach vorn gezogen wird, und sich in dieser Richtung ziemlich schnell bewegt. Der erste Stoß wird also durch das Trägheits-Moment des Schiffes aufgehoben, dessen Bewegung nicht nur zerstört, sondern sogar in die entgegengesetzte verwandelt werden muß, bevor die neue scharfe Spannung des Taues erfolgt. Die letztere darf demnach nur noch die Bewegung des Schiffes unterbrechen, die demselben durch diesen Stoß mitgetheilt wurde.

Das Ankertau oder Kabel wird gemeinhin in der Länge von 120 bis 150 Faden oder von 60 bis 75 Ruthen gesponnen, was in den meisten Fällen auch genügt, wiewohl bei tiefem Wasser zwei Kabel zusammengesplisft werden müssen, um die Anker einem möglichst horizontalen Zuge auszusetzen. Beim Ankern auf der Rhede, wo nach der wechselnden Richtung des Windes die Schiffe hinreichend Raum haben müssen, um sich rings um den Anker drehen zu können, pflegt man Schiffe bis 2 Kabel auseinander zu legen, damit sie weder selbst zusammen stoßen, noch auch die Tase mit den Ankern der andern Schiffe in Berührung kommen. Für Linienschiffe genügt dieses aber noch nicht.

Bei ankernden Schiffen, und namentlich solchen, die bei heftigem Wellenschlage vor einem Ankertau liegen, tritt noch die Gefahr ein, daß letzteres in dem Klüsgatt oder auf der Winde, oder wo es sonst befestigt ist, durchscheure. Man darf es daher nicht unmittelbar mit Holz, oder noch weniger mit Eisen in Berührung bringen. Es wird vielmehr an diesen Stellen mit Lappen von Segeltuch umwunden und diese macht man dadurch geschmeidiger, daß man sie stark mit Talg einreibt. Bei heftiger Bewegung genügt diese Vorsicht aber nur für kurze Zeit und nach wenigen Stunden muß man die nächsten Stellen des Taues in gleicher Art verkleiden, und alsdann das Tau soweit anholen oder nachlassen, daß die neue Verkleidung nunmehr mit den festen Stützpunkten in Berührung kommt. Dieselbe Vorsicht wird aber auch bei den Ketten angewendet, weil die Glieder derselben, wenn sie auch selbst nicht leiden, doch die Holztheile, auf denen sie aufliegen, stark angreifen. Dieses fortwährende neue Verkleiden und Verschieben des Taues oder der Kette ist um so mühsamer, als man bei heftigem Wellenschlage nicht wagen darf, die Ankerwinde, die bei starken Stößen abbrechen könnte, zur einzigen Stütze zu wählen, man vielmehr die Befestigung des Taues noch dadurch sichert, daß man dieses oder

die Kette, um einen Mast, und im heftigsten Wellenschlage sogar um alle drei Masten schlingt, um möglichst viele Stützpunkte zu gewinnen. Bei jedesmaligem Anholen oder Nachlassen muß aber für jeden derselben eine neue Verkleidung aufgebracht und die Windung verändert werden.

Von der Erleichterung des Schiffes durch Herablassen der Bramstengen ist bereits früher (§ 31) die Rede gewesen, es ergibt sich aber hieraus, wie gefährlich und mit welchen Beschwerden verbunden das Ankern bei heftigem Wellenschlage ist. Es reicht daher einem Hafen zum großen Vorzuge, wenn er eine geschützte Rhede hat, die von Stürmen nicht getroffen wird, und wo das Wasser stets ziemlich ruhig bleibt. Dergleichen ganz geschützte Rheden finden sich selten, doch liegt ein großer Gewinn schon darin, wenn sie vor den herrschenden Winden und den stärksten Stürmen Schutz bieten. So wird die Rhede vor Neufahrwasser bei Danzig für sehr sicher gehalten, weil bei westlichen Stürmen, so wie auch bei nördlichen die Wellen durch die Halbinsel Hela von ihr abgehalten werden. Nur bei nordöstlichen Winden bietet sie keinen Schutz. Die Rhede von Pillau und eben so auch die von Memel sind dagegen den westlichen Stürmen, die auf der nördlichen Hemisphäre die heftigsten sind, ganz bloß gestellt.

In manchen Fällen wird ein Schiff vor zwei Anker gelegt. Dieses geschieht schon, wenn der erste Anker nicht faßt, also das Schiff vor demselben treibt. Man läßt alsdann den zweiten Anker in gleicher Weise, wie den ersten fallen. Sicherer ist es jedoch, beide Anker vorher mit einander zu verbinden oder zu verkatten. Dieses kann jedoch nur geschehn, wenn man die Gefahr schon bemerkt, während das Schiff noch unter Segel ist. Es wird alsdann das Ankertau durch mehrfaches Durchziehn durch den Ring des ersten Ankers und durch Umschlingen des Schaftes desselben mit diesem fest verbunden, so daß es sich von dem Ende des Schaftes, wo die beiden Arme abgehn, nicht trennen kann, und demnächst wird es in geringer Entfernung dahinter an den Ring des zweiten Ankers gesteckt.

Ganz gewöhnlich ist auch der Gebrauch zweier Anker, wenn das Schiff in einem engen Revier liegt, wo die Fluth und Ebbe jedesmal ein Umsetzen der Strömung veranlaßt. Würde man in diesem Falle nur einen Anker benutzen, so müßte derselbe sich

jedesmal drehen, und außerdem könnte das Schiff beim Aufhören der Strömung weit seitwärts vor dem Winde abtreiben, so daß es die Schifffahrt behinderte, oder auch wohl selbst vor dem Winde gegen die Sandbänke triebe. Man pflegt es daher vor zwei Anker zu legen, von denen der eine es bei der Fluth, und der andere bei der Ebbe hält. Bevor das Schiff an die Stelle kommt, wo es liegen soll, läßt man den einen Anker fallen, und segelt alsdann bis zu der gleichen Entfernung über die Liegestelle hinaus, um hier den zweiten Anker auszuwerfen. Demnächst wird das Schiff an dem ersten Ankertau zurückgewunden, bis es sich in der Mitte zwischen beiden Ankern befindet. Die beiden Tawe oder Ketten, von denen die eine durch das rechtseitige, und die andere durch das linksseitige Klüsgatt gezogen ist, werden nunmehr scharf angewunden, um die Anker in die richtige Lage zu bringen, und es ist ersichtlich, daß alsdann das Schiff sehr nahe an derselben Stelle liegen bleibt, wenn die Strömung von der einen, oder von der andern Seite kommt. Hiedurch wird auch die Möglichkeit geboten, daß Schiffe sehr nahe neben einander ankern können, ohne daß ihre Tawe sich umschlingen oder sie selbst gegen einander stoßen. In diesem Falle ist jedoch große Vorsicht nöthig, daß beim Umsetzen des Stromes die Schiffe auf demselben Wege zurückdrehen, auf dem sie sich vorher in der entgegengesetzten Richtung gedreht hatten. Geschieht dieses nicht, so winden beide Tawe oder Ketten vor dem Bug sich um einander, wobei eine Beschädigung leicht eintritt, und das Anholen jedes einzelnen unmöglich wird. Durch rechtzeitiges Beisetzen einzelner Segel läßt sich dieses gewöhnlich leicht vermeiden. Das beschriebene Manöver setzt aber immer voraus, daß die Ankerstelle ziemlich geschützt ist und von starkem Seegange nicht getroffen wird, weil ein solcher, wenn die Wellen seitwärts anlaufen, die Tawe zu sehr angreifen, auch die Anker bald lösen würde.

In diesem, wie in vielen andern Fällen, befindet sich die Rhede nicht im Meere, sondern schon innerhalb der Strommündung, und wenn daselbst besondere Häfen eingerichtet sind, so wird im Gegensatze zu diesen der Ankerplatz im Strome wieder die Rhede genannt. Diese Bezeichnung pflegt insofern zu keinen Verwechslungen Veranlassung zu geben, als in solchem Falle eine äußere Rhede meist nicht existirt, oder wenigstens nicht oft benutzt wird, weil

lie innere bei jeder Fluth zugänglich ist, auch hinreichende Tiefe hat. In den Ostsee-Häfen ist eine solche Benennung nicht üblich, weil die Liegeplätze im Strome theils schon den eigentlichen Hafen bilden, theils aber auch durch die Barre von der offenen See geschieden werden, also nicht leicht zugänglich sind. Die meisten unserer Häfen sind in der That nicht sowol Bassins, in denen die Schiffe vor Strom und Eisgang geschützt liegen, als vielmehr nur Flußmündungen. Dieses ist bei Swinemünde, Kolbergermünde, Rügenwaldermünde, Stolpmünde und selbst bei Memel der Fall, obwohl man am letzten Orte seit geraumer Zeit ein Hafenbassin ausheben begonnen hat, das jedoch wegen mangelnder Tiefe noch immer nicht als solches benutzt werden kann. Bei dem Hafen Neufahrwasser bei Danzig umging man, wie bereits § 12 mitgetheilt worden, die Sandablagerungen, die sich vor der Mündung der Weichsel gebildet hatten, durch einen Canal, der nach dem tieferen Wasser führte, das sich früher auf der östlichen Seite vorfand. Es traten jedoch sehr bald auch hier Versandungen ein, und man sah sich daher gezwungen, diesen Canal wiederholentlich zu verlängern, bis endlich nach der Einführung kräftiger Dampfbagger, die Untiefen vor der Hafenmündung in der sehr geschützten Bucht genügend beseitigt werden konnten. Nachdem vollends die Weichsel bei Neufahr die schmale Dünenkette durchbrochen hatte, und der bei Danzig vorbeiführende Arm vollständig gegen Durchströmung gesichert worden ist, so haben sich freilich die Verhältnisse hier sehr günstig gestaltet, aber nichts desto weniger besteht der Hafen dennoch nicht in einem geräumigen Bassin, vielmehr stellt sich auch gegenwärtig noch immer das Bedürfnis eines solchen behufs der bequemen Befrachtung und Löschung der Schiffe heraus.

Der einzige Preussische Hafen, der gleich bei seiner ersten Entstehung mit einem Seiten-Bassin versehen wurde, worin die Schiffe außerhalb des Stromes liegen konnten, ist Pillau. Bei den nach und nach eintretenden Verlandungen wurde dieses Bassin oder der sogenannte Graben für diesen Zweck offen erhalten, und als später die vor der Mündung desselben sich hinziehende Sandablagerung mit einem Bohlwerke begrenzt und durch Ballast erhöht wurde, woraus der Russische Damm sich bildete, so entstand auf der östlichen Seite der Stadt der eigentliche Hafen. Derselbe wird von dem Strome, der aus dem Frischen Haffe nach der See, oder um-

gekehrt geht, nicht unmittelbar getroffen, aber dennoch zeigt sich darin zuweilen eine nachtheilige Strömung, da der Hafen auf der Nordseite nicht abgeschlossen ist, und bei gewissen Winden das Wasser aus der Bucht bei Camstigal ziemlich heftig durch ihn abfließt. Aus der Situations-Zeichnung Fig. 27 lassen sich diese Verhältnisse ungefähr erkennen, doch soll dieser Hafen, dessen Entstehung und Ausbildung sich nach den historischen Nachrichten sehr sicher verfolgen läßt, später ausführlich beschrieben werden.

Die ankommenden Schiffe, welche wegen zu grossen Tiefganges oder wegen ungünstigen Windes nicht sogleich in Pillau einlaufen können, ankern in der offenen See jenseits der Barre, die sich vor den Molen parallel zum Strande hinzieht. Dieser Ankerplatz heisst die Rhede. Sind die Schiffe dagegen bis in das Tief oder den schmalen Wasserlauf zwischen der Stadt und der Nehrung gekommen, und sollen sie etwa nach Königsberg oder Elbing aufgehen, so werden sie nicht in den eigentlichen Hafen eingebracht, vielmehr in dem tiefen Kessel südwestlich von Pillau vor Anker gelegt. Man sagt alsdann, daß sie auf dem Strome ankern. Ohne Zweifel ist diese Stelle auch eine Rhede, und zwar eine sehr gesicherte, doch wird dieser Ausdruck hier nicht gebraucht, weil man die äussere Rhede darunter verstehn würde.

Die Anlagen zur Sicherung einer Rhede im offenen Meere oder auch in einer von Natur schon ziemlich geschützten Bucht sind jedesmal sehr kostbar, weil grosse Tiefen durchbaut werden müssen, und es giebt nur wenig Beispiele, wo dieses wirklich geschehn ist. Nicht selten werden Vorschläge gemacht, durch schwimmende Wellenbrecher die dahinter liegenden Schiffe zu sichern. Der Effect von solchen ist aber keineswegs so gross, als man erwartet, und ausserdem ist es überaus schwierig, sie selbst vor Zerstörungen sicher zu stellen und sie hinreichend zu befestigen. Wie eine Anlage dieser Art sich vor dem Hafen Ciotat ganz ungenügend erwiesen hat, ist bereits § 33 erwähnt worden.

Das erste und zugleich das wichtigste Beispiel zur Sicherung einer Rhede ist in der Bucht von Cherbourg zur Ausführung gekommen. Dieser Bau bietet nicht nur an sich ein überwiegendes Interesse wegen der sehr verschiedenen Constructions-Arten, die im Laufe der Zeit daran versucht wurden, und wegen der dabei gemachten Erfahrungen, sondern ausserdem ist er für die Entwicke-

See- und Hafenbaues von unverkennbarem Einflusse gelangt zweimal haben die Ansichten, die sich bei ihm geltend gemacht, auch in England und zum Theil in Deutschland Eingang gefunden. Es wird sich daher rechtfertigen, wenn in Folgenden ausführlich und besonders behandelt wird. Nur erwähnt werden, daß dieser Schutzdamm oder Weller nahe eine halbe Deutsche Meile lang ist, und sich bisch über den natürlichen Boden erhebt. Der letztere liegt 38 Fuß unter dem Niedrigwasser der Aequinoctialen. Der Fluthwechsel bei solchen mißt 23 Fuß, und der hebt sich mit seiner Krone noch 13 Fuß über die höchsten.

solcher Bau wurde im Anfange dieses Jahrhunderts auf der Küste von England in der Bai von Plymouth aus eine gesicherte Rhede vor den hier belegenen Etablissements Marine darzustellen. Der Wellenbrecher, nachgebildet nach der Art, wie derselbe damals theils ausgeführt war, theils werden sollte, erhielt in der Krone die Länge von nahe einer Deutschen Meile, diese Krone erhebt sich aber nur 2 Fuß über den höchsten Fluthen, während der natürliche Boden ungefähr 38 Fuß unter dem Niedrigwasser der Aequinoctial-Springfluthen liegt bei Cherbourg. Der größte Fluthwechsel mißt hier 17½ Fuß. Dieser Bau wurde unter Rennie's Leitung 1812 begonnen. In Nordamerika kam in den Jahren 1829 bis 1834 unter R. B. Meade's Leitung ein Wellenbrecher, jedoch von noch geringeren Dimensionen zur Ausführung, nämlich nordwestlich vom Cap Cod 292 Ruthen lang und zwar in solcher Richtung, daß seine Krone das benannte Vorgebirge trifft. Die Tiefe maas hier zwischen den Wasserstände 30 bis 36 Fuß und die Krone erhebt sich 13 Fuß über die Aequinoctial-Springfluthen, die einen Fluthwechsel von 6½ Fuß veranlassen. In der ausgedehnten Bai vor der Küste des Delaware wurde hierdurch eine Rhede gebildet, in der alle Stürme sehr geschützt lag, beim Aufgehn des Delaware trieb jedoch das Eis stark hinein, und um die Schiffe in diesem zu schützen, sah man sich gezwungen, nachträglich ein ähnliches Werk von 121 Ruthen Länge auszuführen, dessen Festen nach Osten gerichtet ist, und die Rhede auf der deckt.

Zuweilen hat man auch die Hafenmündungen gegen das Eintreten der Wellen in ähnlicher Weise, wie die Rheden, dadurch gesichert, daß isolirte Dämme davor gelegt sind. Dieses ist z. B. bei Civita Vecchia geschehn und eben so hat man auch den Hafen von Cette in den Jahren von 1820 bis 1830 durch einen 148 Ruten langen Wellenbrecher zu decken gesucht.

Durch Anlagen dieser Art, die sehr häufig empfohlen werden, erreicht man ohne Zweifel nicht nur den großen Vorthail, daß der Wellenschlag sich wesentlich mäßigt, sondern man gewinnt für den Hafen auch zwei Mündungen, von denen nach der jedesmaligen Richtung des Windes beim Ein- oder Ausgehn die eine oder die andre benutzt werden kann. Nichts desto weniger sind diese isolirten Dämme doch immer sehr gefährlich, da sie unverkennbar zu starken Versandungen Veranlassung geben. Gemeinhin pflegt man bei ihrer Anlage darauf Rücksicht zu nehmen, daß der Durchgang einer frischen und kräftigen Strömung möglichst wenig behindert werde, und sonach der Sand nicht hinter ihnen liegen bleibe, vielmehr durch die Küstenströmung weiter geführt werde. Diese Absicht ist indessen immer nur sehr unvollständig zu erreichen, denn offenbar wird eine Zwischenwand, die man in fließendem Wasser errichtet, wenn sie auch vollständig in der Richtung des Stromes liegt, doch jedenfalls denselben schwächen, und namentlich wird dieses in dem durch sie gebildeten schmalern Arme der Fall sein. Die hinter den Wellenbrecher tretenden Sand- und Kiesmassen können also nicht mehr mit derselben Leichtigkeit, wie früher, wieder heraus getrieben werden. Viel wichtiger ist jedoch noch ein anderer Umstand, der ihre Ablagerung wesentlich befördert. Dieses ist das Aufhören der starken Wellenbewegung. So lange letztere anhält, kommen die auf der Oberfläche des Strandes liegenden Sand- und Kiesmassen gar nicht zur Ruhe und folgen sonach bei dem anhaltenden Auf- und Abtreiben selbst der schwächsten Küstenströmung. Dieses hört aber auf mit der Abschwächung der Wellen. Der Sand und Kies treibt so weit, wie der Wellenschlag anhält, er lagert sich aber ab, wo dieser aufhört. Daß solche sehr nachtheilige Aenderungen wirklich eintreten, hat sich bei Cette gezeigt, woselbst seit der Erbauung des Wellenbrechers die östliche Mündung so sehr verflacht ist, daß sie von grösseren Schiffen nicht mehr passirt werden kann.

Auch bei den vorhin erwähnten Wellenbrechern vor den Rhe- bei Cherbourg, Plymouth und in der Delaware-Bai ist man auf : Versandungen sehr aufmerksam geblieben, und wenn man e bisher noch nicht bemerkt hat, so rührt dieses wohl allein n her, daß in jenen Buchten keine große Sand- und Kiesmas- vorbeitreiben, daß also solche entweder überhaupt fehlen, oder die Küstenströmung sehr mäßig ist.

§. 35.

Frühere Bauten bei Cherbourg.

Is ist bereits erwähnt worden, daß die Bauten bei Cherbourg amentlich der Wellenbrecher, der die dortige Rhede schützt, erwiegendem Einflusse auf die Hafen-Baukunst im Allgemei- ewesen ist. Außerdem ist der Kriegshafen daselbst von gro- edeutung, und wenn man dieses von dem dortigen Handels- auch nicht sagen kann, so treten dennoch bei demselben die- i Eigenthümlichkeiten der Anordnung in sehr einfacher Form , welche in den meisten Häfen, die einem starken Fluthwech- terworfen sind, sich zu wiederholen pflegen. Es wird sich rechtfertigen, wenn diese verschiedenen Anlagen im Nachste- a ausführlich beschrieben werden.

herbourg, in dem Scheitel einer flachen Bucht auf der weit enden Halbinsel Cotentin belegen, konnte in früherer Zeit merkantilische Bedeutung haben, da es auf der Südseite, wo in mit dem Binnenlande in Verbindung steht, durch einen Bergrücken begrenzt wird, über den keine bequeme Straße . In den Kriegen zwischen Frankreich und England spielte gegen eine große Rolle. Der Insel Wight und dem Hafen outh gegenüber liegend, war es den feindlichen Angriffen um hr ausgesetzt, als es bei seiner abgeschlossenen Lage vom nlande aus nicht leicht unterstützt werden konnte. Vauban daher, Cherbourg sei das Wirthshaus am Canale, in welches ngländer in jedem Kriege einkehren. Derselbe verkannte aber welche große Bedeutung dieser Ort für Frankreich haben , wenn es möglich wäre, daselbst eine Station zu bilden, wo

eine Kriegsflotte gegen alle Stürme geschützt liegen könnte. Seit 1665 wurde daher schon an die Umschließung der Rhede gedacht, und man war nur zweifelhaft, ob die Bucht bei Cherbourg oder diejenige bei la Hougue, auf der Ostseite der Halbinsel Cotentin, und etwa 4 Deutsche Meilen von Cherbourg entfernt, sich hierzu mehr eigne.

Unter Ludwig XIV. wurde 1740 der alte Handelshafen, der durch die Mündung des kleinen Flüschen Divette gebildet war, und der bei jeder Ebbe trocken lief, wesentlich verbessert, indem der Vorhafen von dem innern Bassin durch eine Dockschleuse getrennt wurde, und dieser Theil als Flotthafen den Wasserstand der Fluth zurückhielt, so daß die Schiffe darin fortwährend flott bleiben konnten. In dieser Weise stellt die Situationszeichnung in Bélidor's *Architecture hydraulique**), die 1750 erschien, den Hafen dar. Zwei Hafendämme, die sich bis zur Grenze des Niedrigwassers fortsetzen, bilden nach dieser Zeichnung die Einfahrt in den geräumigen Vorhafen, und hinter diesem liegt der Flotthafen, dessen Gestalt freilich von der des gegenwärtigen wesentlich abweicht. Zwischen beiden befindet sich nicht nur die Dockschleuse, sondern an beiden Seiten der letzteren noch zwei Canäle von je 9 Fuß Weite, welche durch Schütze geschlossen werden, also zum Spülen des Vorhafens benutzt werden können. Der Flotthafen, in den sich die Divette ergießt, diente also damals zugleich als Spülbassin.

Nach der Charte der Rhede bei Cherbourg, die de Cessart**) mittheilt, liegt das Spülbassin, wie auch gegenwärtig der Fall ist, auf der östlichen Seite des Flotthafens, und es wird nicht nur durch die darin eintretende Fluth, sondern auch durch den Fluß Divette gefüllt.

Unter den sonstigen Veränderungen, die in neuerer Zeit an diesem Hafen vorgekommen sind, wäre zu erwähnen, daß der Flotthafen bedeutend verlängert ist, wogegen aus der Vergleichung der Situationspläne aus verschiedenen Zeiten sich eine bedeutende Verkürzung des westlichen Hafendamms ergibt. Etwa um das Jahr 1820 wurden beide Hafendämme auf einen großen Theil ihrer Länge zerstört, und man hat seitdem nur den östlichen wieder her-

*) *Seconde partie, Tome I, Taf. LI.*

**) *Description des travaux hydrauliques. Tome II. Paris 1808.*

gestellt, weil der westliche doch niemals zur Wirkung gekommen war, indem sich vor demselben stets eine Sandbank ablagerte.

Der Handelshafen besteht gegenwärtig, wie die Situationszeichnung Fig. 108 angiebt, zunächst aus der ganz geraden Hafenmündung oder dem langen von beiden Hafendämmen eingeschlossenen Halse, der im Französischen le Chenal heisst, wofür wir im Deutschen keinen Ausdruck haben. Die Breite desselben misst 160 Fufs und seine Länge 128 Ruthen, doch ist, wie bereits erwähnt, der westliche Hafendamm bedeutend kürzer und nur 74 Ruthen lang. Die Hafendämme sind aus Bruchsteinmauerwerk ausgeführt, mit Granitquadern eingefasst, etwa 30 Fufs breit und erheben sich einige Fufs hoch über den höchsten Wasserstand. Die Küstenströmung soll hier vorzugsweise von Osten nach Westen gerichtet sein, und man ist also von der Ansicht ausgegangen, dass die Hafenmündung an derjenigen Seite, von wo der Sand hinzutreibt, durch den längeren Damm zu sichern sei. Aus den Mittheilungen, die später über die Offenerhaltung der Hafenmündungen gemacht werden sollen, wird sich ergeben, dass diese Ansicht keineswegs die allgemeine ist, dass man vielmehr gewöhnlich günstigere Erfolge sich verspricht, wenn der gegenüber liegende Hafendamm der längere ist. Auf dem Kopfe des östlichen oder des am weitesten vortretenden Hafendamms befindet sich ein kleiner Leuchthurm, auf dem ein rothes Licht unterhalten wird, das sich 32 Fufs über den mittleren Spiegel der See erhebt, und bei halber Fluth angezündet wird.

Es dürfte angemessen sein, hier zugleich die andern Feuer zu benennen, durch welche die Rhede bei Cherbourg bezeichnet wird. Die Küste wird vorzugsweise durch zwei Feuer erster Ordnung markirt. Eines derselben befindet sich auf der Pointe de Barfleur. Dasselbe ist ein Drehfeuer, das von 30 zu 30 Secunden sich bis zu einem schwachen Schimmer vermindert, und 287 Fufs über dem Meeresspiegel angebracht ist. Das zweite auf Cap de la Hague ist ein festes Feuer, das 153 Fufs über dem Meerespiegel brennt. Beide sind $6\frac{1}{2}$ Deutsche Meilen von einander entfernt, und bezeichnen die östliche und westliche Ecke von dem nördlichen Ufer der Halbinsel Cotentin. In der Mitte zwischen ihnen befindet sich die Bucht von Cherbourg. Diese ist aber ausser dem bereits beschriebenen Hafenfeuer noch durch eine Anzahl andrer kleiner Feuer markirt, nämlich zunächst durch ein festes weisses Feuer in dem Fort auf der

Insel Pelée, ferner durch ein festes grünes Feuer auf der östlichen Ecke des Wellenbrechers, sodann durch ein Drehfeuer in dem Fort Central des Wellenbrechers, das von 3 zu 3 Minuten vollständig verschwindet, außerdem durch ein festes rothes Feuer auf der westlichen Ecke des Wellenbrechers und endlich durch ein festes weißes Feuer in dem Fort Querqueville. Die Mündung des Kriegshafens sollte nach dem ursprünglichen Plane noch durch zwei Leuchttürme bezeichnet werden, die jedoch zur Zeit noch nicht existiren.

Der Handelshafen besteht ferner aus einem geräumigen Vorhafen von 95 Ruthen Länge und 53 Ruthen Breite. Derselbe wird zur Zeit des niedrigen Wassers beinahe in seiner ganzen Ausdehnung trocken und es bleibt darin nur die tiefere Rinne mit Wasser bedeckt, die von dem Spülstrome vorzugsweise getroffen wird. Die Schiffe, welche im Vorhafen liegen, setzen sich also während der Ebbe auf den Grund auf. Für grössere und scharf gebaute Schiffe würde dieses allerdings sehr nachtheilig sein, weil sie dabei nicht gleichmässig unterstützt würden, sich auch auf die Seite legen müßten, bei kleinen und flachen Fahrzeugen ist dieses Aufsetzen aber unschädlich, weil eines Theils dafür gesorgt wird, daß der Boden recht rein bleibt, und weil außerdem wegen der engen Mündung und der geschützten Lage derselben der Wellenschlag nicht von Bedeutung ist, und sonach, während beim steigenden oder fallenden Wasser die Schiffe so eben nur noch schwimmen, sie nicht heftig auf den Grund gestossen werden.

Eine Dockschleuse, bestehend aus einem einzelnen Thorpaare, das nach innen aufschlägt, also den Stand des Hochwassers in dem Binnenhafen zurückhält, verbindet den letzteren mit dem Vorhafen. Die Schleuse ist $41\frac{1}{2}$ Fuß weit und ihr Drempel liegt $12\frac{1}{2}$ Fuß unter dem Hochwasser bei todtten Fluthen. Es können sonach bei allen Fluthen Schiffe von 200 Lasten und gewöhnlich noch grössere eingebracht werden.

Der Binnenhafen oder der Flotthafen ist 108 Ruthen lang und $33\frac{1}{2}$ Ruthen breit, er faßt über 200 Schiffe verschiedener Größe und bietet über 209 Ruthen Länge Kai den Schiffen, an welche dieselben unmittelbar anlegen können.

An der südlichen Seite des Binnenhafens sind noch zwei Hellinge erbaut und ein drittes befindet sich in der nordwestlichen Ecke des Vorhafens. Eine kurze Eisenbahn führt von dem Flott-

hafen nach den Steinbrüchen des in der Nähe befindlichen Roule-Gebirges. Nachdem nunmehr die Eisenbahn von Paris nach Cherbourg fertig geworden ist, so hat man dieselbe wahrscheinlich auch nach den Kais des Handelshafens verlängert.

Endlich gehört zu dieser Anlage noch das Spülbassin an der östlichen Seite des Flotthafens. Dasselbe ist 160 Ruthen lang und durchschnittlich 16 Ruthen breit. Es nimmt den Fluß Divette auf, der indessen die Verlandung dieses Bassins wesentlich befördert, woher man schon lange daran gedacht hat, den Fluß zur Seite des letzteren unmittelbar nach der See ausmünden zu lassen. So oft der Vorhafen gespült werden soll, läßt man das Hochwasser eintreten, und damit dieses sich nicht in das niedrige Thal des Flusses ergießt, so muß alsdann die Verbindung zwischen beiden durch Schütze geschlossen werden. Das Spülbassin mündet durch einen überwölbten Canal auf der östlichen Seite der Dockschleuse in den Vorhafen und wird durch ein gewöhnliches Spülthor mit zwei ungleichen Flügeln geschlossen.*) Die Ausflußöffnung, etwa 15 Fuß weit, ist nach der Längenrichtung des Vorhafens gekehrt und liegt sehr nahe an der Schleuse.

Die zweite und ohne Zweifel die bedeutendste Anlage in der Bucht bei Cherbourg ist der Wellenbrecher, der die Rhede bei nördlichen Winden gegen Wellenschlag schützt. Längs der ganzen Französischen Küste zwischen Dünkirchen und Brest, also nahe auf 60 Deutsche Meilen Länge, gab es keinen Hafen, in den grössere Schiffe bei jedem Wasserstande einlaufen und worin sie bei Stürmen ohne Gefahr liegen konnten. Der Mangel war um so fühlbarer, als die gegenüber liegende Englische Küste mehrere sehr geschützte und tiefe Buchten, wie bei Southampton, Portsmouth und Plymouth enthält, also die Handelsschiffe sich hier stets bergen, auch armirte Fahrzeuge sicher liegen, und die günstige Gelegenheit zum Auslaufen wahrnehmen konnten, während die Französischen Schiffe in Kriegzeiten allen Zufälligkeiten des feindlichen Angriffes, wie der Witterung ausgesetzt waren, ohne daß sie irgend wo Schutz fanden. Gegen das Ende des Amerikanischen Krieges hatte man sich endlich überzeugt, daß ein Hafen oder wenigstens eine geschützte Rhede hier nothwendig sei, und die Frage, ob die Bucht

*) Vergl. den zweiten Theil dieses Handbuches § 111.

von Cherbourg oder von la Hougue zu wählen sei, wurde 1777 durch den Marine-Capitän de la Bretonnière entschieden, der den Nachweis führte, daß in der Bucht von la Hougue mehr erdige Theilchen durch die Küstenströmung herbeigeführt würden, als bei Cherbourg, wo sich nur Sand, und auch dieser nur in geringem Maasse vorfinden sollte.

In den Jahren 1779 und 1780 wurden die beiden Forts auf der Insel Pelée und auf der westlich von Cherbourg weit vortretenden Ufer-Ecke le Homet erbaut. Das dritte sehr bedeutende Fort am Meere, nämlich Querqueville, kam erst 1787 hinzu.

Das Project zum Wellenbrecher mochte früher schon vielfach in Ueberlegung genommen sein. Belidor*) äußert sich darüber ausführlich, und schlägt vor, von der Spitze le Homet und von der Insel Pelée aus zwei Dämme gegen einander zu führen, die zwischen sich eine Oeffnung von etwa einer Viertel Deutschen Meile frei lassen, außerdem aber von der Insel Pelée noch einen andern Damm in südlicher Richtung nach der nächsten Uferecke, Tour la Ville genannt, zu führen, und hier eine zweite Einfahrt von etwa 40 Ruthen Weite darzustellen. Daß die Ausführung dieses Projectes unterblieben ist, darf man wohl nicht beklagen, denn nach demselben würde der sehr kleine Theil der tiefen Rhede, der innerhalb der Umschließung liegt, gar keinen Schutz erhalten haben und dem Wellenschlage in gleichem Maasse, wie früher, ausgesetzt geblieben sein.

De la Bretonnière hatte gleichfalls ein Project angegeben, welches de Cessart in dem bereits benannten Werke kurz andeutet. Im Abstände von 1 Lieu vom Ufer sollte nämlich ein 2000 Toisen oder 1035 Ruthen langer isolirter Damm ausgeführt werden, der nicht nur an seinen beiden Enden die Zugänge zur Rhede frei läßt, sondern außerdem in der Mitte noch eine Oeffnung zu gleichem Zweck erhält. Es ergibt sich hieraus, daß nach diesem Vorschlage der Wellenbrecher 200 bis 300 Ruthen weiter seewärts gelegt worden wäre, als er später wirklich gelegt ist, und daß die geschützte Rhede hierdurch in hohem Grade an Ausdehnung gewonnen haben würde, so wie sie auch wahrscheinlich mit viel bequemerem Zugängen versehen worden wäre. Dagegen ist nicht zu verkennen, daß

*) Architecture hydraulique. II. Partie, Volume II. § 667.

die Kosten der Anlage und die Schwierigkeiten der Ausführung sich dabei gleichfalls wesentlich erhöht hätten. Was die Art der Ausführung betrifft, so entschied sich de la Bretonnière für dieselbe Construction, die bereits bei la Rochelle mit Erfolg angewendet war. Er glaubte nämlich, verschiedene starke Strömungen nahe über dem Grunde bemerkt zu haben, und besorgte daher, daß gewöhnliche Steinschüttungen sich nicht halten würden; woher er empfahl, alte Schiffe auszumauern und neben und über einander zu versenken, demnächst aber lose Steine dazwischen und darüber zu schütten, so daß auf diese Weise ein Damm entstände, der sich 50 Pariser Fuß über die Sohle erhebt.

Es wurde nunmehr eine Commission ernannt, um dieses Project zu prüfen. Dieselbe konnte sich nicht mit der vorgeschlagenen Construction einverstanden erklären, weil sie namentlich besorgte, daß die erforderliche Anzahl alter Schiffe nicht aufzutreiben sein werde. Das Ministerium schien indessen auf das erste Project großes Gewicht zu legen, und so wurde beschlossen, daß vor der definitiven Entscheidung noch de la Bretonnière gehört werden solle, der inzwischen das Commando über ein großes Schiff erhalten und auf diesem eine weite Reise angetreten hatte.

In dieser Zwischenzeit legte de Cessart, ältester General-Inspector des Wasserbaues, dem Minister und Staats-Secretär der Marine, de Castries, ein Project zur Verbesserung des Hafens vom Havre vor. Er wurde bei dieser Gelegenheit um seine Ansicht gefragt, in welcher Weise wohl die Rhede bei Cherbourg in solcher Ausdehnung, daß 80 bis 100 Kriegsschiffe daselbst ankern könnten, gegen Wellenschlag und feindliche Angriffe zu sichern sei. De Cessart rühmt sich, dieser Aufgabe sogleich nachgekommen zu sein, und 14 Tage darauf schon das vollständige Project dem Minister vorgelegt zu haben. Dieses geschah 1781.

Das Project bezog sich, wie es scheint, allein auf die Anordnung und Constructions-Art des Dammes, ohne seine Richtung und Lage zu berühren. Es wird nur gesagt, daß der Damm ungefähr 2000 Toisen lang werden solle. De Cessart meint, der Angriff der Wellen gegen einen dichten Damm sei zu stark, als daß ein solcher sicher widerstehn könne, dieses habe sich an demselben Damme bei la Rochelle gezeigt, auf den de la Bretonnière Bezug genommen. Es bleibe daher nur übrig, den Wellenschlag durch viele und

nahe neben einander befindliche, steil aufsteigende Massen zu unterbrechen. Zu diesem Zwecke müsse man die Rhede mit einer Reihe von abgestumpften Kegeln einschliessen, die sich in ihrer breiten Basis berühren. Er wolle daher in der Entfernung von einer halben Lieu vom südlichen Ufer 90 kegelförmige Kasten von Holz, ohne Boden, neben einander stellen, deren Basis 150 Fuß^{*)} und deren obere Grundfläche 60 Fuß im Durchmesser hält, die aber 60 bis 72 Fuß hoch sind, indem sie noch einige Fuß über das Hochwasser (bei Aequinoctial-Springfluthen) vorragen. Die schmalen Oeffnungen dazwischen und die steilen Wände, die sich unter 53 bis 58 Graden gegen den Horizont erheben, würden den Wellenschlag so sehr mässigen, daß die dahinter liegenden Schiffe nicht mehr in nachtheiliger Weise von demselben getroffen werden könnten. Ausserdem würden aber die Oeffnungen auch zu enge sein, als daß selbst bei ruhiger See feindliche Schiffe hindurchzufahren wagen dürften. Die Kegel würden leicht auf dem Strande zu erbauen und bei Hochwasser auf ihre Stelle zu bringen und zu versenken sein. Sie sollten alsdann schleunig in ihrer ganzen Höhe mit Steinen angefüllt, und sobald die Schüttung sich gesetzt hat, bis zum niedrigsten Wasser wieder entleert, und von hier ab mit Bruchsteinen in Puzzolan-Mörtel vollgemauert und mit einer Lage Granit-Quadern überdeckt werden. Die Construction und Art der Versenkung wurde zugleich näher beschrieben, und eine vergleichungsweise sehr kurze Dauer der Bauzeit, sowie auch sehr mässige Kosten der Ausführung in Aussicht gestellt.

Wie abenteuerlich und unüberlegt dieses Project auch war, so erweckte die Zuversicht, mit der es vorgelegt wurde, doch großes Vertrauen. Es wurde einer Commission, bestehend aus höheren Marine-Offizieren, Militär-Ingenieuren und Wasserbaumeistern zur Prüfung vorgelegt, unter letzteren befand sich auch Perronet. Wenn ein Plan höheren Orts bereits gebilligt worden, so ist es bedenklich und gemeinhin auch ganz erfolglos, dagegen noch Zweifel aussprechen. Die Commission begnügte sich daher, einen vorläufigen Versuch über die Zusammensetzung und den Transport eines Kegels zu empfehlen.

*) Diese Angaben beziehn sich auf Pariser Fußmaafs, das ungefähr im Verhältnisse von 80 zu 29 grösser ist, als das Rheinländische. Die Toise beträgt 6 Pariser Fuß.

Im Anfange des Jahres 1782 wurde ein solcher Versuch an der Meeresküste ohnfern des Havre angeordnet, und zwar hatte der Kegel nach de Cessart's Angabe nur 36 Fuß Höhe, während die Basis 150 Fuß im Durchmesser hielt. Indem die Neigung seiner Seitenfläche auf 60 Grade bestimmt war, so betrug sein oberer Durchmesser 108 Fuß.

Die Construction dieses und der übrigen Kegel wird bei Gelegenheit der hölzernen Hafendämme kurz beschrieben werden, hier ist nur das Geschichtliche über diesen berüchtigten Bau mitzutheilen.

Die Ausführung des zu diesem Versuche bestimmten Kegels ging ziemlich langsam von statten, indem wiederholte Stürme, wie es an der Mündung der Seine nicht selten sind, mehrmals den begonnenen Bau stark beschädigten. Innerhalb vier Monate war der Kegel endlich aufgestellt und in sich verbunden, und am 8. November, kurz vor Eintritt des Hochwassers, hob er sich mittelst der daran befestigten Tonnen. Man bugsirte ihn etwa 150 Ruthen seitwärts, und senkte ihn alsdann, indem die Tonnen gelöst wurden. Dieser Versuch begründete kein Bedenken gegen das gewählte Verfahren und der Kegel wurde wieder in die einzelnen Verbandstücke zerlegt, um diese auf der Rhede von Cherbourg verwenden zu können.

Am 1. April 1783 wurde endlich der Bau des Wellenbrechers genehmigt und de Cessart mit der Ausführung desselben beauftragt. Um einen schnellen Fortgang der Arbeiten zu ermöglichen, wurden 2000 Soldaten ihm zur Disposition gestellt, doch waren auch andere Anlagen nothwendig, bevor der eigentliche Bau begonnen werden konnte. Es mußten Casernen für das Militär und für die übrigen Arbeiter, verschiedene Straßen nach den Baustellen und Steinbrüchen eingerichtet, ein kleiner Hafen zur bequemen Abfuhr der Steine u. dgl. angelegt werden. Dieser Hafen erhielt seine Stelle bei dem Dorfe Becquet, etwa 1 Deutsche Meile ostwärts von Cherbourg, woselbst sich ein brauchbarer Steinbruch in unmittelbarer Nähe des Meeres befand. Die Baustelle für die Kegel wurde bei Chantereyne auf dem Strande südlich der Felsen le Galet, also auf einem Terrain eingerichtet, welches gegenwärtig innerhalb des Kriegshafens liegt.

Ein Kegel von 60 Fuß Höhe wurde in demselben Jahre fertig, doch verzögerte sich sein Transport und seine Versenkung, indem

aufs Neue Zweifel angeregt wurden, ob derselbe mittelst der beabsichtigten Methoden sicher gehoben und eben so sicher gesenkt werden könne. Zur Entscheidung dieser Frage wurde nochmals eine Commission berufen, die ohnerachtet der heftigen Widersprüche Seitens der Marine-Offiziere sich doch schliesslich für jene Methoden aussprach. Am 6. Juni 1784 wurden beim niedrigen Wasser die 64 Tonnen angebracht, welche den Kegel heben sollten, und nachdem das Wasser 9 Fufs neben dem Kegel gestiegen war, so erhob er sich und schwamm ganz regelmässig, ohne sich nach einer Seite überzuneigen. Vier grosse Prahme mit Erdwinden versehen, waren auf dem Wege, den er durchlaufen sollte, vorher vor Anker gelegt. Indem der Wind südlich war, so trieb der Kegel sogar von selbst seiner Richtung zu, aber der Transport verzögerte sich doch in hohem Grade, indem die sehr schweren Schlepptaue wiederholentlich in Unordnung kamen, und wegen ihres übermässigen Gewichtes nicht schnell umgelegt werden konnten. Man sah sich sogar mehrmals gezwungen, sie zu durchschneiden und durch andre zu ersetzen. Endlich entschloß sich de Cessart, statt der Winden einige Segelschiffe vorzuspannen, die dann nach 6½ Stunden den Kegel in die vorher bestimmten Alignements brachten, wo er vor Anker gelegt wurde.

Der Transport hatte sich so sehr verzögert, daß das Niedrigwasser bereits vorüber war, als mit dem Ablösen der Tonnen der Anfang gemacht werden sollte. Es trat also die Besorgniß ein, daß der Kegel von der bereits beginnenden Fluth aufs Neue gehoben und bei unruhiger See zerschlagen werden möchte. Namentlich fürchtete dieses der Festungs-Commandant, und gegen de Cessarts Anordnung liefs er schleunig einen Trupp Soldaten auf den Kegel kommen, welche so schnell, wie möglich, die Taue, woran die Tonnen hingen, durchschneiden mußten. Dieses geschah indessen ganz ungleichmässig, und der Erfolg war, daß der Kegel sich sehr stark überneigte. Die Ingenieure setzten es mit Mühe durch, daß nur an der Seite, wo der Kegel sich am meisten hob, das Abschneiden fortgesetzt werden durfte, und so stellte sich denn schliesslich der Kegel wieder senkrecht, und erreichte in dieser Stellung den Grund.

Bei dieser Gelegenheit zeigte sich, wie de Cessart erzählt, eine ganz unerwartete Erscheinung. Der Grund lag nämlich 10 Fufs höher, als man geglaubt hatte. Der Kegel sollte bei Nie-

Wasser 42 Fuß eintauchen, er tauchte wirklich aber nur 32 Fuß ein. Dieser Irrthum ist für die ganze Anlage im höchsten Grade nachtheilig geworden, denn dieser erste Kegel war unglücklicher Weise derjenige, der nächst der Insel Pelée das Ende des Dammes bilden sollte. Gleich beim Versenken desselben zeigte sich also schon, daß die östliche Einfahrt der Rhede nicht die nöthige Tiefe habe, um bei allen Wasserständen das Einlaufen von Linienschiffen zu gestatten. De Cessart sagt bei dieser Gelegenheit, daß die Tiefenmessungen nicht von ihm, sondern von der Militär-Behörde gemacht worden seien, und ihm sogar nicht gestattet gewesen, sich in der Richtigkeit derselben zu überzeugen. In dem von de Cessart aufgestellten Projecte ist, soweit er dasselbe mittheilt, von guten Sondirungen gar nicht die Rede, und wie sich aus andern Beschreibungen dieses Baues ergibt, so wurde die Lage des Wellenbrechers und seine Begrenzung ganz unabhängig von allen nautischen Verhältnissen, allein nach militärischen Rücksichten bestimmt. Der Damm ist nicht in einer geraden Linie, noch auch in einem Bogen, sondern in zwei Linien gezogen worden, deren Verlängerungen das Fort von Querqueville und das auf der Insel Pelée treffen. Der längere Flügel liegt auf der Seite des stärkeren Forts, der erste dagegen nähert sich dem letztbenannten Fort bis auf 250 Ruthen. Der dazwischen liegende Zugang zur Rhede konnte also auch in damaliger Zeit ziemlich sicher bestrichen werden. Dieser ursprünglich beabsichtigte Endpunkt des Wellenbrechers ist bekannt, weil hier der erste Kegel wirklich versenkt wurde, wie weit sich dagegen der Damm dem Fort Querqueville nähern sollte, ist zweifelhaft. Legt man die von de Cessart bezeichnete Länge von 2000 Toisen zum Grunde, so hätte der westliche Endpunkt noch etwa 100 Ruthen weiter herausgerückt werden müssen, als er jetzt liegt, und die westliche Einfahrt wäre gleichfalls beschränkt worden. Es ist indessen, wie sich aus dem ferneren Verlauf des Baues ergibt, sehr wahrscheinlich, daß es wirklich Absicht gewesen, den westlichen Flügel eben so sehr dem Fort Querqueville zu nähern, wie der östliche dem Fort Pelée genähert wurde. Auf solche Weise würde man eine sehr sichere Rhede gebildet haben, die jedoch keinen Zugang gehabt hätte.

Die Mittheilungen von de Cessart, die vorzugsweise hierüber einige Auskunft geben, sind indessen sehr zweifelhaft, und es ist

wahrscheinlich, daß der Erbauer bei seinem vermeintlichen praktischen Sinne genaue Local-Untersuchungen für ganz entbehrlich hielt, und selbst beim Versenken des ersten Kegels nicht bemerkte, daß derselbe die östliche Einfahrt zur Rhede sperrte. Hätte er dieses wahrgenommen, so würde er doch jedenfalls diesen Gegenstand zur Sprache gebracht, und den Kegel, der noch lose auf dem Grunde stand, wieder zu heben, oder ganz zu beseitigen sich bemüht haben. Dieses Alles unterliefs er nicht nur, sondern nahm sogar keinen Anstand, später einen neuen Kegel noch weiter ostwärts aufzustellen, wodurch die Brauchbarkeit des östlichen Zuganges noch mehr beschränkt wurde. Wenn aber de Cessart des bemerkten Irrthumes Erwähnung thut, und sich dabei entschuldigt, so darf nicht übersehn werden, daß seine Beschreibung der dortigen Arbeiten noch das Jahr 1791 umfaßt, also aus späterer Zeit herrührt, und daß im Jahre 1789, in Folge der zufälligen Entdeckung, daß die östliche Einfahrt nicht die nöthige Tiefe habe, zum ersten Male eine genaue Sondirung der ganzen Rhede vorgenommen wurde, deren sehr ungünstige Resultate er ohne Zweifel erfahren hatte.

Anfang Juli 1784 wurde der zweite Kegel versenkt, derselbe, dessen unterer Theil im Havre zum Probeversuche bereits benutzt worden war. Er wurde auf der westlichen Seite des ersteren so nahe demselben gestellt, daß zwischen beiden Grundflächen nur ein freier Zwischenraum von 6 Fuß Breite übrig blieb. Dieser Kegel war bis zur Höhe des niedrigen Wassers mit Steinen gefüllt, als er bei einem heftigen Sturme im August desselben Jahres in seinem obern Theile stark beschädigt wurde. Der Minister kam selbst nach Cherbourg, um sich von der Ausdehnung dieser Beschädigungen zu überzeugen. De Cessart meint, dieselben seien nicht von Bedeutung gewesen, doch besagen andre Nachrichten das Gegentheil und sprechen auch von manchen Schäden, die der erste Kegel gleichzeitig erlitten hatte, der doch vollständig mit Steinen gefüllt gewesen war.

Der Bau wurde indessen nicht unterbrochen, vielmehr sollte er so beschleunigt werden, daß im nächsten, so wie in den folgenden Jahren immer je zehn Kegel zur Ausführung kämen. Dabei wurde jedoch die möglichste Ermäßigung der Kosten anbefohlen. De Cessart erklärte Beides für unmöglich, um jedoch eine Ersparung eintreten zu lassen, so schlug er vor, man solle den zweiten, also den

zerstörten Kegel, nicht wiederherstellen, vielmehr den dritten unmittelbar daneben versenken, und diesen mit dem ersten versuchsweise durch einen Damm verbinden, der aus schweren Steinen geschüttet würde. Sollte dieser Versuch befriedigend ausfallen, so möge man eben so lange Zwischendämme auch später zur Anwendung bringen, und zu diesem Zwecke die Kegel in 50 Toisen Entfernung von einander versenken. Die Anzahl der nöthigen Kegel würde sich dadurch auf 64 reduciren.

Nachdem der Minister sich davon überzeugt hatte, daß auch dieser größere Abstand das Durchdringen feindlicher Kriegsschiffe nicht besorgen lasse, oder daß solches doch durch herübergezogene Ketten leicht zu verhindern sein werde, so genehmigte er, daß die Kegel nunmehr in Abständen von 50 Toisen versenkt werden sollten. Als jedoch im Jahre 1785 der dritte Kegel fertig war, wurde derselbe 106 Toisen entfernt von dem zweiten gestellt, doch scheint es, daß man später noch einen vierten zwischen beiden anbrachte und bis zum siebenten Kegel die Entfernungen ungefähr auf 50 Toisen beschränkte.

Im Mai 1786 wurde der achte Kegel in Gegenwart des Grafen von Artois versenkt, und zugleich der Befehl gegeben, daß der folgende Kegel schleunigst fertig gestellt werden solle, weil der König Ludwig XVI. den Transport und das Niederlassen eines Kegels selber zu sehn wünsche. Nachdem ein Geschwader von 17 Kriegsschiffen auf der Rhede eingetroffen war, kam der König am 22. Juni Abends an, doch war seine Zeit sehr beschränkt, das Schauspiel mußte also möglichst bald begonnen und beendet werden. Der neunte Kegel, der auf der westlichen Seite sich an die Reihe der bisher aufgestellten anschließen sollte, war fertig. Der Transport an diese Stelle war aber bei dem westlichen Winde schwieriger und zeitraubender, als wenn man ihn nach der Ostseite des projectirten Dammes gebracht hätte. Dazu kam noch, daß ein bequemer und zwar ein fester Altan in der Nähe erbaut werden mußte, von welchem aus der König, ohne den Schwankungen eines Schiffes ausgesetzt zu sein, die Versenkung beobachten konnte. Unter allen bisher aufgestellten Kegeln befand sich aber gerade der erste noch im besten Zustande, der also die größte Sicherheit bot, um diesen Altan zu tragen.

Beide Umstände erschienen so wichtig, daß es nicht weiter

darauf ankam, ob die östliche Einfahrt, der die erforderliche Tiefe bereits fehlte, durch neues Vorschieben des Dammes noch mehr verdorben würde. De Cessart war hierzu schnell entschlossen, doch fragte er bei dem Commandanten an, und dieser erklärte, die Breite der Mündung könne, ohne das Einlaufen eines Geschwaders zu erschweren, um 50 Toisen vermindert werden. In dieser Absicht wurde der Kegel auf die Ostseite des ersten gebracht, doch war er zufällig zu weit von demselben fortgetrieben und man mußte ihn wieder zurückwinden. Dieses machte indessen Schwierigkeit, weil man zu lange und zu schwere Tane gewählt hatte, und um den König nicht warten zu lassen, so wurde der Kegel noch um 35 Toisen weiter, nämlich 85 Toisen vom ersten entfernt, vor Anker gelegt und versenkt. Es ist unbegreiflich, mit welcher Unbefangenheit de Cessart diese beispiellosen Mißgriffe erzählt, doch fügt er hinzu, daß der König ihm seine volle Zufriedenheit ausgedrückt und alle betheiligten Ingenieure mit Geschenken und Auszeichnungen bedacht habe.

Das so eben beschriebene Ereigniß bildete nicht allein den practischen Glanzpunkt, sondern auch sehr auffallend den Wendepunkt in der Geschichte dieses Hafenbaues. In demselben Jahre wurde noch ein Kegel und 1787 fünf andre versenkt, der Commandant ließ sie aber in Abständen von 140 Toisen von einander aufstellen. De Cessart klagt, daß sie wie isolirte Klippen erscheinen, und weder den Wellenschlag mäßigen, noch auch sich gegenseitig unterstützen können.

1788 waren wieder fünf Kegel verbunden, doch erklärte der Commandant, er wolle keinen mehr versenken, weil sie doch keinen Bestand haben, und noch weniger irgend welchen Einfluß auf den Wellenschlag erkennen lassen. Auf die Entscheidung des Ministeriums wurden jedoch drei derselben noch aufgestellt, nachdem sie zuvor bis zum niedrigsten Wasser abgeschnitten waren, weil die Erfahrung ergab, daß der obere Theil in der kürzesten Zeit durch Wellenschlag zerstört wurde. Der Abstand dieser drei Kegel unter sich und gegen den nächst vorhergehenden betrug 250 Toisen. Die beiden übrigen Kegel wurden auf der Baustelle verkauft.

Hiermit schließt die Geschichte dieser neuen Erfindung im Hafenbau, die selbst in damaliger Zeit, wo die gegenseitigen Beziehungen der verschiedenen Länder nur sehr beschränkt waren, in der ganzen civilisirten Welt große Aufmerksamkeit erregte, und im

Allgemeinen wohl Bewunderung erweckte. Die 18 Kegel waren über die ganze Länge des gegenwärtigen Wellenbrechers vertheilt, doch waren ihre Abstände, wie erwähnt, sehr verschieden.

Der auf der östlichen Ecke aufgestellte Kegel erhielt sich am längsten, indem er erst im Jahre 1800 von den Wellen zertrümmert wurde, er hatte also 14 Jahre 9 Monate gestanden. Die nächst stehenden, bis zu demjenigen, der in Gegenwart des Grafen von Artois versenkt wurde, erhielten sich durchschnittlich $3\frac{1}{2}$ Jahre und die letzten neun, von denen nur ein einziger ein halbes Jahr lang bestand, zerfielen durchschnittlich schon in 3 Monaten, indem theils von den Würmern zerfressen, theils von den Wellen abbrochen wurden.

Die 18 Kegel, mit Einschluss der auf der Baustelle verkauften, wie auch mit Hinzurechnung der Kosten ihrer Anfüllung mit Steinen, hatten sehr nahe $4\frac{1}{2}$ Millionen Francs oder $1\frac{1}{2}$ Million Thaler gekostet. Bis zum Anfang des Jahres 1791 waren indessen, wohl der Bau der Kegel aufgehört hatte, auf diesen Damm $21\frac{1}{2}$ Millionen Francs verwendet, also bei Weitem die Hauptsumme auf die Steinschüttungen zwischen den Kegeln. Zu den letzteren hatte man bald so wenig Vertrauen, dass man schon im Jahre 1789 die Reste aller Kegel, soweit die Verbandstücke derselben noch vorhanden waren und zur Zeit des niedrigen Wassers frei zu kommen, abschnitt oder aus hob und beseitigte.

Es ist bereits erwähnt worden, wie wenig bei dem ganzen Bau auf die vorhandenen Tiefen beachtet waren. De Cessart beschwert sich wiederholentlich, dass der Commandant ihm diese falsch angegeben habe, und dass daher die Kegel, die sämmtlich einige Fuß über den Wasserstand der Aequinoctial-Springfluthen vorragen sollten, bald um 10 Fuß zu hoch und bald wieder um eben soviel zu niedrig waren. Endlich im Anfange des Jahres 1789 unternahm ein Marine-Offizier, Namens de Chavagnac, aus eigenem Antriebe eine nähere Untersuchung der Rhede, und fand zu seinem Erstaunen, dass an der östlichen Ecke des Dammes die Tiefe beim niedrigsten Wasser nur 25 Fuß betrug und nach der Insel Pelée hin sich immer mehr verminderte, dass also die östliche Einfahrt nur bei mittleren und höheren Wasserständen von Linienschiffen befahren werden könne. Auch die westliche Einfahrt, die, wie es scheint, durch weitere Herausführung des Dammes noch mehr ver-

engt werden sollte, wurde durch ein Felsriff theilweise gesperrt, welches so weit vortrat, daß im Abstände von 300 Ruthen von dem Fort Querqueville beim kleinen Wasser die Tiefe nur 15 Fuß betrug.

De Chavagnac machte hiervon sogleich Anzeige und es wurde darauf (im Juli 1789) zum ersten Male eine genaue Tiefenmessung angeordnet. Dieselbe bestätigte vollständig die Richtigkeit dieser ersten Untersuchung, und in Folge dessen erging sogleich der Befehl, daß der Damm auf der westlichen Seite nicht weiter verlängert werden solle. Dabei trat freilich der groſse Uebelstand ein, daß das Fort Querqueville zu weit entfernt lag, als daß von demselben aus der Eingang noch sicher hätte bestrichen werden können. Man hat sich deshalb später gezwungen gesehn, noch ein isolirtes Fort in der Nähe des tiefen Fahrwassers zu erbauen, dem man den Namen jenes Marine-Officiers, Fort de Chavagnac, beilegte. In dem Situationsplane Fig. 108 ist letzteres angegeben, so wie darin auch die Tiefen-Linien nach neueren See-Charten bezeichnet sind.*)

Die sehr bedeutenden Steinschüttungen, die noch bis zum Jahre 1792 fortgesetzt wurden, erreichten durchschnittlich die Höhe des niedrigsten Wassers und es ragte darüber nur der Kegel an der östlichen Ecke des Dammes hervor, der in seinem obern Theile in Cement ausgemauert war. In diesem Zustande blieb der Damm eine Reihe von Jahren, da während der Revolutions-Zeit die weitere Fortsetzung der Arbeiten unterbleiben mußte. Nichts desto weniger ließ die gesetzgebende Versammlung im Jahre 1792 sich von einer besonders dazu niedergesetzten Commission über den Stand des Baues, so wie über dessen bisherige Erfolge und über die passendste Art seiner Vollendung Bericht erstatten. Mitglieder dieser Commission waren theils See- und Ingenieur-Offiziere, außerdem aber zwei sehr namhafte Wasserbau-Beamte, nämlich Lambardie und Cachin.

Das Gutachten derselben besagte, daß die bisher ausgeführte

) Die vorstehenden Mittheilungen sind vorzugsweise aus dem bereits erwähnten Werke von de Cessart entnommen, die folgenden dagegen aus dem „Mémoire sur la digue de Cherbourg von Cachin, Paris 1820, und aus den „travaux d'achèvement de la digue de Cherbourg“ von J. Bonnin. Paris 1857.

üttung aus Stücken bestände, die durchschnittlich nur $\frac{1}{4}$ Pa-
 bikfuß, also etwas weniger, als $\frac{1}{4}$ Rheinländischen Cubikfuß

Dieselben seien bis auf 15 Fuß unter dem kleinsten Was-
 r stark durch die Wellen vertrieben worden. Diejenigen
 welche an der Südseite auf der Kante der Krone liegen,
 sich gegen den Stofs der Wellen nur halten, wenn ihr
 t, mit Rücksicht auf die Verminderung desselben im Wasser,
 Angriffe hinreichenden Widerstand leistete. Der Damm war
 sweise auf eine Länge von 50 Toisen mit Steinen von 15
 Cubikfuß überdeckt, und es ergab sich, daß diese kaum merk-
 rwegt waren und der größte Theil sogar seine Lage ganz
 ndert beibehalten hatte. Die sehr steile Böschung auf der
 e, von $1\frac{1}{2}$ facher Anlage, hatte sich unverändert erhalten, der
 Theil der Schüttung war dagegen eingesunken, und nament-
 igten sich sehr starke Angriffe an den Stellen, wo die Kegel
 eichmäßigkeit der Schüttung unterbrachen. Außerdem be-
 man auch, daß die oben liegenden kleineren Steine abge-
 und vom Seetang frei waren, der sich sonst sehr stark an-
 hatte. Hieraus ergab sich, daß sie in dauernder Bewegung
 . Die Commission entschied sich daher, daß es zur gehöri-
 abilität des Dammes nothwendig sei, ihn mit Steinen von 15
 Cubikfuß (16,8 bis 22,4 Cubikfuß Rheinländisch) zu über-
 a.

im zu ermitteln, welche Höhe der Damm haben müsse, um
 ellen auf der Rhede so weit abzustillen, wie die Sicherheit
 selbst liegenden Schiffe dieses erfordert, so wurden zuverlässi-
 keelente, welche den Hafen häufig besuchten, über die bis-
 e Wirkung des Dammes befragt. Sie erklärten einstim-
 laß selbst bei heftigem Seewinde die Rhede zur Zeit des nie-
 Wassers sehr ruhig bleibe, daß jedoch mit dem Steigen des
 rs die Bewegung zunehme, und zwei Stunden vor Hochwas-
 gefährlich werde. Es habe sogar den Anschein, daß die Wel-
 ndem sie alsdann über den niedrigen Damm treten, eine noch
 re Bewegung annehmen, wodurch namentlich diejenigen Schiffe
 t werden, die in der Nähe des Dammes ankern. Die Com-
 n schloß hieraus, daß der Damm, wenn er bei allen Was-
 den einigermaassen wirksam sein sollte, wenigstens bis auf
 us unter Hochwasser der Springfluthen, oder $7\frac{1}{2}$ Fuß über

Niedrigwasser derselben sich erheben müsse. Dieses sei jedoch das geringste Maass. Solle die Rhede so geschützt werden, daß man sie stets mit Chaloupen befahren kann, so müsse die Krone 8 Fuß höher liegen. Schliesslich empfahl jedoch die Commission, den Damm sogar bis 9 Fuß über das Hochwasser der Springfluthen aufzuführen.

Die Frage in Betreff der Vertheidigung der Rhede führte zu der Ueberzeugung, daß auf dem Wellenbrecher selbst einige Forts angelegt werden müßten, aber die Marine-Offiziere erklärten dieses für unmöglich, weil die Wellen hier jede Anlage der Art zerstören würden. Dieses Bedenken war Veranlassung, daß ein zweiter Damm vom Fort Querqueville aus projectirt wurde, der sich dem westlichen Ende des Wellenbrechers bis auf 300 Ruthen nähern und mit einem Fort versehen sein sollte. Die Erbauung des letzteren würde aber, wie man meinte, weniger Schwierigkeiten bieten, insofern die Wassertiefe daselbst bedeutend geringer war.

Diese Ansichten wurden Seitens der Regierung gebilligt, doch konnte denselben wegen der nunmehr ausbrechenden politischen Stürme nicht weiter Folge gegeben werden. Die Arbeiten bei Cherbourg blieben während voller zehn Jahre unterbrochen, bis am Schluss des Jahres 1802 ihre schleunige Fortsetzung angeordnet wurde. Es handelte sich indessen damals weniger darum, die Rhede gegen Wellenschlag, als vielmehr gegen feindliche Angriffe zu sichern. Es sollte demnach der mittlere Theil des Dammes auf 100 Toisen (nahr 52 Ruthen) Länge bis auf 9 Fuß über die höchsten Fluthen erhöht werden, um daselbst eine Batterie aufzustellen. Für die beiden Endpunkte des Dammes wurden ähnliche Anlagen in Aussicht genommen, die jedoch zunächst noch unterblieben, während die Arbeiten auf dem mittleren Theile in zwei Jahren beendigt sein sollten.

Sehr wichtig sind die Beobachtungen, die man in dieser Zeit über die Ablagerung der Steinschüttungen machte. Letztere waren seit dem Jahre 1784 ziemlich unregelmässig, jedoch in solcher Höhe aufgebracht, daß sie sich bis über das Niedrigwasser zur Zeit der todten Fluthen erhoben. Gegenwärtig war dieses nicht mehr der Fall, die Krone hatte sich vielmehr im Allgemeinen etwa um 15 Fuß gesenkt. Fig. 109 zeigt in der Umgrenzung *DEFG* das Profil, welches bei allen Messungen sich ungefähr wiederholte. Die Böschung auf der innern, oder auf der der Rhede zugekehrten

war 45 Grade gegen den Horizont geneigt, dagegen hatte die Dossirung in ihrem obern Theile die Anlage von 1 zu 7,69 und in untern Theile von 1 zu 1,43 angenommen. Es litt auch kein Zweifel, daß die innere, sehr steile Böschung durch das Herabfallen derjenigen Steine entstanden war, die früher die Krone dargestellt hatten. Außerdem überzeugte sich die Commission davon, daß keine andre Bewegung der Steine eintreten könne, als diejenige, welche der Stoß der Wellen ihnen mittheilt, und daß in Folge dessen die Steine ziemlich steile Flächen ersteigen und in solcher Art an innern Rand der Krone erreichen, von dem sie herabstürzen und eine so steile Ablagerung bilden, wie solche in stehendem Wasser sich nur erhalten kann.

Diese Vervollständigung des Dammes, die allein zu militärischen Zwecken dienen sollte, war von einer Militär-Behörde angeordnet, dieselbe hatte zugleich bestimmt, daß nur Ingenieur-Offiziere den Bau ausführen sollten. Es ereignete sich jedoch, daß der Offizier, dem dieser ehrenvolle Auftrag ertheilt war, denselben ablehnte, der Wasser-Transport und die Verschüttung der großen Steine mit sonstigen Festungs-Bauten nichts gemein habe, und daher von solchen Männern mit Erfolg angeordnet und beaufsichtigt werden könne, welche mit Arbeiten an der See näher bekannt darin geübt wären. Die Regierung, und zwar vorzugsweise der erste Consul oder der spätere Kaiser, erkannte die Richtigkeit dieses Bedenkens an, und indem er zu Cachin volles Vertrauen gefaßt hatte, so übertrug er diesem die Ausführung. Der Kaiser rechtfertigte vollständig die Wahl.

Die sämtlichen Steinbrüche in der Nähe von Cherbourg wurden noch im Herbst desselben Jahres wieder eröffnet, aber die Einrichtung von Zufuhrwegen nach dem Ufer, von Landebrücken zum Verladen der Steine, vor Allem aber die Beschaffung der nöthigen Fahrzeuge machte sehr große Schwierigkeiten. Die vor ein Jahr zu einer Landung in England bestimmten Kanonen wurden zunächst für die Steintransporte zur Disposition gegeben, doch ergab sich bald, daß dieselben theils für diesen Zweck ungeeignet, theils aber auch bereits gar zu schadhaft geworden waren.

Der Versuch, die hierzu geeigneten Handelsschiffe aufzukaufen, führte gleichfalls zu keinem befriedigenden Resultate, und so blieb endlich nur die Erbauung neuer Fahrzeuge übrig.

Am Schlusse des Jahres 1803 war der mittlere Theil des Dammes bis zum Niedrigwasser bei todten Fluthen erhöht worden, und nunmehr glaubte man die Verwendung schwererer Blöcke nicht mehr aussetzen zu dürfen, um ein ferneres Abwaschen der Krone zu verhindern. Es wurden demnach grössere Blöcke auf den innern Rand der Krone aufgebracht, und aus denselben die sehr steil profilierte Schüttung *ABC* gebildet. Die Steine, welche seewärts sich dagegen lehnten, durften, wie man voraussetzte, keine bedeutende Grösse haben, und man zog von ihrer Beweglichkeit im Wellenschlage sogar den Vortheil, daß man sie, wie es sich von den Fahrzeugen aus am bequemsten thun liefs, auf den äufsern Rand der Dossirung bei *MN* warf, von wo aus sie durch die Wellen heraufgetrieben und gegen die Schüttung der grössern Steine gelehnt wurden, so daß endlich das Profil *DEABHIK* sich bildete.

Dieses Profil wurde mit schweren Steinen bedeckt, die bald bis auf 60 und 80 Cubikfufs sich vergrößerten, indem die Anstalten zu ihrem Transporte sich nach und nach verbesserten und die dabei angestellten Arbeiter mehr Uebung gewannen. Am schwierigsten war die Ueberdeckung des obern Theiles des Dammes, weil die Schiffe hier nicht mehr darüber gebracht und aus denselben die Steine nicht mehr unmittelbar verstürzt werden konnten. Man half sich indessen mit verschiedenen Hebe-Böcken und Krannen, um so viel wie möglich die kleineren Steine nicht der unmittelbaren Einwirkung der Wellen auszusetzen.

Diese Arbeiten wurden so beschleunigt, daß schon im Jahre 1803 der mittlere Theil des Dammes auf 100 Toisen Länge und 10 Toisen Breite bis auf 9 Fufs über Aequinoctial-Springfluthen erhöht war. Im August desselben Jahres wurden auch bereits sechs Geschütze darauf aufgestellt. Im December stürzte jedoch die seeseitige Schutzmauer ein, die man nur aus kleinen Steinen aufgeführt hatte. Die Schüttung an sich erlitt dabei keine Beschädigung und die 60 Mann, die hier nothdürftig casernirt waren, kamen dabei in keine Gefahr.

In den nächsten Jahren wurde diese kleine Insel unter Anwendung sehr großer Steinblöcke, deren Fugen mit zähem Thon verstrichen waren, noch weiter ausgedehnt und erhöht und so sehr gegen die Angriffe der See gesichert, daß man in dieser Beziehung jede Gefahr beseitigt glaubte. Die Stürme im Februar und Mai des

Jahre 1807 veranlassten indessen einige sehr bedenkliche Beschädigungen, die zwar bald wiederhergestellt wurden, jedoch erkennen lassen, daß selbst die größten Blöcke einzeln dem Stosse der Wellen nicht widerstehn könnten. Man schmeichelte sich jedoch mit der Hoffnung, daß der Wellenschlag diese mit der Zeit so gegen einander lehnen und der ganzen Steinmasse solche Dossirung geben würde, daß die ferneren Bewegungen aufhören müßten.

Der sehr heftige Nordwest-Sturm am 12. Februar 1808 zeigte lassen, daß eine solche Sicherheit noch lange nicht erreicht sei. Die seeseitige Dossirung mit den Brustmauern wurde zerstört, eben so die hölzernen Gebäude, die hinter derselben errichtet waren. Die Besatzung, aus einigen hundert Mann bestehend, fand größtentheils ihren Tod in den Wellen, und nur die Wenigen wurden gerettet, die in den gemauerten Cisternen und Latrinen Schutz gesucht hatten. Das ganze Werk zeigte darauf dasselbe Bild, welches ein Bergsturz bietet. Große Steinblöcke von der seeseitigen Dossirung gelöst, überdeckten die Krone, von der alle künstlichen Anlagen beseitigt waren, mit alleiniger Ausnahme derjenigen, die ein in sich verbundenes festes Mauerwerk darstellten. Indem man die Position nicht aufgeben wollte, so begnügte man sich vorläufig damit, eine solide Brustmauer an der Seeseite aufzuführen und gegen diese die sehr flache Böschung *AB*, Fig. 110, aus großen und sorgfältig versetzten Steinblöcken zu lehnen, dagegen die hier abschließende Böschung *BCDEF* ganz unverändert zu lassen, weil diese, wie sich aus der Vergleichung mit früheren Profilmessungen ergab, während des heftigen Sturmes keine Veränderung erlitten hatte. Das kleine massive Gebäude im Schutze der Brustmauer diente zur Aufnahme der 60 Mann, die nunmehr allein die Besatzung dieses provisorischen Forts bilden sollten. Diese Anlage hielt sich auch unversehrt, bis nach einigen Jahrzehnden endlich die wesentlich veränderten Constructionen zur Ausführung kamen, von denen im Folgenden die Rede sein wird.

Dieselbe Figur zeigt auf der Binnen-Seite noch die Anfänge eines späteren Baues, der unter dem 7. Juli 1811 vom Kaiser beschlossen und gleich darauf auch begonnen wurde. Es sollten nämlich für einen elliptischen Thurm von 35 Toisen Länge und 19 Toisen Breite, die Fundamente, aus großen und regelmäßig versetzten Steinen bestehend, im Niveau der niedrigsten Ebben dargestellt

werden. Man überdeckte diese mit mehreren Lagen starker Schieferplatten, und darüber wurde ein 28 Fuß hoher massiver Mauerkörper gestellt, der das thurmartige Fort tragen sollte. Um spätere Senkungen zu verhindern, überpackte man dasselbe noch einige fünfzig Fuß hoch mit trockenen Steinen, belastete es also viel stärker, als dieses später durch den Thurm geschah. Die Weiterführung des Werkes unterblieb wegen der bald darauf eintretenden wichtigen politischen Ereignisse. In diesem Zustande sah ich noch im Anfange des Jahres 1823 den Wellenbrecher. Bei niedrigem Wasser trat er in seiner ganzen Länge vor, während die Steinpackung in der Mitte schon in weiter Entfernung hinter Cherbourg sichtbar war, und bei allen Wasserständen wie eine kleine und hohe Insel erschien.

Während der ganzen Zeit, daß das Werk sich selbst überlassen blieb, konnte man bei verschiedenen Nachmessungen keine Veränderung des Profiles bemerken, und daß ein gewisser Beharrungsstand desselben eingetreten sei, liefs sich schon seit dem Jahre 1808 aus dem Umstande schließen, daß die Profile, die damals gemessen wurden, in den wesentlichsten Punkten übereinstimmten, wiewohl die Steinschüttungen in ganz verschiedener Form dargestellt waren. Cachin theilt die Resultate dreier Profil-Messungen mit, die theils in der Mittellinie und theils auf beiden Seiten des erhöhten Theiles, wie er sagt, mit der größten Sorgfalt gemacht und im Jahre 1816 nochmals wiederholt, und im Allgemeinen bestätigt gefunden wurden. Die dabei gewählten Grenzen, die in nachstehender Tabelle durch „höchstes und niedrigstes Wasser“ bezeichnet sind, beziehen sich auf die Aequinoctial-Springfluthen,*) und die absoluten Maasse sind in Metern ausgedrückt.

*) Wenn der Fluthwechsel in diesen Mittheilungen verschiedentlich angegeben ist, so rührt dieses davon her, daß man ihn in früherer Zeit weniger scharf bestimmt hatte. Eine Berichtigung liefs sich dabei aber nicht einführen, ohne die Maasse wesentlich zu entstellen.

Böschungen des Cherbourger Dammes auf der Seeseite.

	Profil.	ver- tikaler Abstand.	hori- zontaler	Anlage.
I. Ueber dem höchsten Wasser . . .	1	10,00	5,69	1,76
	2	8,00	3,71	2,16
	3	8,60	5,20	1,65
durchschnittlich . .	—	—	—	1,86
II. Zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasser	1	38,20	6,90	5,54
	2	37,00	7,14	5,18
	3	39,00	7,06	5,52
durchschnittlich . .	—	—	—	5,41
III. Zwischen dem niedrigsten Wasser und 5 Meter (16 Fufs) darunter	1	15,70	5,40	2,91
	2	15,00	5,10	2,94
	3	15,80	4,90	3,22
durchschnittlich . .	—	—	—	3,02
V. Weiter abwärts bis zum Grunde . .	1	10,00	7,80	1,28
	2	12,00	8,00	1,50
	3	8,50	8,50	1,00
durchschnittlich . .	—	—	—	1,26

Die Uebereinstimmung der Böschungen in diesen Profilen ist die mit II und III bezeichneten Abtheilungen in der That überhend, und deutet mit großer Sicherheit darauf hin, daß dieselbe in allen drei Fällen wirksam gewesen, daß also unter ähnlichen Umständen auch dieselben Erfolge zu erwarten sind. Größere Verschiedenheiten zeigen sich dagegen in den beiden andern Abtheilungen.

Es könnte befremden, daß die vertikalen Abstände zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wasser in den drei Profilen

nicht genau übereinstimmen, da bei der geringen Entfernung derselben von einander, doch unmöglich in dieser Beziehung eine so auffallende Verschiedenheit stattfinden kann. Noch mehr dürfte es befremden, daß auch in der III. Abtheilung, die durch bestimmte Maasse in der Höhe begrenzt wird, gleichfalls Abweichungen vorkommen. Cachin erklärt nicht diese Anomalien, ein Irrthum ist indessen keineswegs anzunehmen, vielmehr muß man die Ursache hiervon in der unregelmäßigen Gestaltung der Oberfläche suchen, die bei der GröÙe der einzelnen Blöcke unmöglich sich vollständig auebnen konnte. Es sind daher wahrscheinlich einzelne Steine ausgesucht, welche die allgemeine Form des Profiles am besten bezeichnen, und diese trafen natürlich nicht immer in denselben Horizont.

Die II. Abtheilung, zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wasser, ist nahe übereinstimmend in allen drei Profilen im Verhältnisse von 1:5,41 oder um $10\frac{1}{2}$ Grade gegen den Horizont geneigt. Dieses ist die Strecke, welche bei sandigen Ufern dem eigentlichen Strande entspricht, wo die auflaufenden Wellen und die zurückfließenden Wassermassen die in der Oberfläche befindlichen Körper hin- und hertreiben. Wenn die Neigung hier bedeutend steiler, als gewöhnlich ist, so erklärt sich dieses aus der GröÙe der Steine. Schon die in § 5 mitgetheilten Beobachtungen ergaben, daß bei gleicher Stärke der Wellen der Strand um so steiler wird, je gröÙer das Material ist.

Von diesem eigentlichen Strande werden durch die Wellen die einzelnen Körner, also hier die großen Steine, theils heraufgehoben, theils aber auch herabgezogen, sie sammeln sich also, soweit sie die letzte Bewegung angenommen haben, zunächst weiter abwärts an. Sie sind hier aber keineswegs sich selbst und allein der Wirkung ihres eignen Gewichtes überlassen, vielmehr werden sie noch von der Wellenbewegung sehr stark getroffen, sie können sich daher, wenn sie auch zur Ruhe gelangen, nur in einer flachen Ablagerung erhalten. Dieses ist die III. Abtheilung des Profiles, die indessen passend wohl nicht durch einen Horizont in bestimmter Tiefe, vielmehr durch die zufällige Höhenlage des Fusses dieser Ablagerung begrenzt wird. Unterhalb dieser Grenze, oder in der IV. Abtheilung hört die Wirkung der Wellen auf, die Ablagerung bleibt also unverändert in derselben Form, wie sie durch äußere Umstände oder durch

künstliche Anschüttung ursprünglich entstanden war. Ganz anders verhält es sich mit der I. Abtheilung, die den obern Theil des Hafens über dem höchsten Wasserstande umfaßt. Es treten hier in der verschiedenen Stärke der Wellen wahrscheinlich die grösssten Veränderungen ein. Häufig, und wohl in den meisten Fällen, werden Steine von der äussern Böschung hierher getrieben, während in besonders hohem Seegange diese ganze Abtheilung sich in einen steilen Strand verwandelt. Die Verschiedenheiten, welche die drei Profile in der I. und IV. Abtheilung zeigen, dürfen daher nicht beachtet werden.

Aus dieser Vergleichung der gemessenen Profile mit der sonstigen Wirkung der Wellen ergibt sich augenscheinlich, daß wenn diese Formen sich auch ziemlich übereinstimmend darstellen und sich wenig verändern, dennoch die Ablagerungen keineswegs unverändert bleiben. In gleicher Weise, wie der Meeresstrand, der dem ständigen Andrang der Wogen ausgesetzt ist, im Allgemeinen zurückweicht, ohne in auffallender Weise seine Form zu verändern, so geschah wohl dasselbe mit diesem Damm. Sein Verhalten war demjenigen einer wandernden Düne nicht unähnlich. Wie bei letzterer der Wind, so setzten hier die Wellen die einzelnen Steine der einseitigen Dossirung in Bewegung, trieben sie bis zur Krone und über diese fort, so daß sie auf der innern Böschung niederstürzten. Schon Cachin besorgte solche Bewegungen und überdeckte daher den innern Rand der Krone mit besonders grossen Steinen. Daß er in dieser Weise der Damm sich wirklich bewegt hat, ergibt sich unverkennbar aus den spätern Erfahrungen, wovon im Folgenden die Rede sein wird. Die Ansicht, als ob durch die Wahl desjenigen Profiles, welches die Messungen ergaben, der aus losen Steinen bestehende Damm der Einwirkung der Wellen entzogen und gesichert werden könne, war daher keineswegs richtig, wie sich dieses auch aus den Erscheinungen an unsern Hafendämmen ergibt.

Daß die Erbauung des Wellenbrechers bei Cherbourg die allgemeine Aufmerksamkeit erregte, bedarf kaum der Erwähnung. Das Werk war theils an sich so großartig, wie bisher noch kein ähnliches existirte, theils aber hatte man auch noch nie versucht, eine so ausgedehnte Rhede zu schützen. Cachin erzählt, daß schon bei der Zusammensetzung und Versenkung der Kegel Engli-

sche Ingenieure sehr aufmerksame Zuschauer gewesen, und daß dieselben beabsichtigt hätten, ähnliche Anlagen in England zur Ausführung zu bringen. Diese Mittheilung wird durch John Rennie bestätigt, doch darf man wohl annehmen, daß die gewählte Construction nur sehr kurze Zeit hindurch zur Nachahmung verleiten konnte, weil ihre Unbrauchbarkeit schon nach wenig Jahren sich überzeugend herausstellte. Als jedoch seit dem Jahre 1802 die Steinschüttungen erhöht wurden, und zwei Jahre darauf der mittlere Theil des Dammes als weit sichtbare Insel über die höchsten Fluthen heraustrat, so erweckte dieses kein geringes Erstaunen bei den Englischen Schiffen. Noch mehr war dieses aber der Fall, als endlich die Ueberzeugung Eingang fand, daß der Wellenschlag wirklich wesentlich durch diesen Damm gemäßiget werde, und die Schiffe daher sicherer dahinter lagen.

Im Jahre 1811 beschloß die Englische Regierung, die Bucht bei Plymouth in ähnlicher Weise gegen den Wellenschlag zu sichern. Unter den verschiedenen Projecten, die zu diesem Zwecke entworfen wurden, befand sich auch eines, vom General Bentham vorgelegt, wonach die Rhede durch eine Reihe von kreisförmigen, hohlen steinernen Thürmen abgeschlossen werden sollte.*) Dieses war augenscheinlich eine Nachahmung der von de Cessart anfangs verfolgten Ideen. Der Vorschlag von John Rennie, dem älteren, wurde indessen Seitens der Regierung gebilligt und 1812 die Ausführung desselben begonnen. Nach demselben bestand der mittlere gerade Theil des Wellenbrechers aus einem 1000 Yard, oder 242½ Ruthen langen Damme, an den sich auf beiden Seiten unter Winkeln von 120 Graden zwei Flügel anschlossen von je 450 Yard oder 109¼ Ruthen Länge. Der Damm erhielt sonach die ganze Länge von 461½ Ruthen, und zwar traten die beiden Flügel nach der Rhede zurück, so daß die Schiffe im Schutze dieses Dammes um so sicherer lagen. Die Einfahrt auf der östlichen Seite behielt beim niedrigsten Wasser die Tiefe von 6 Faden, und diejenige auf der westlichen Seite von 7 bis 8 Faden. Der Damm sollte ferner nur bis zur halben Fluthhöhe heraufgeführt werden. Dieses entsprach wie-

*) Diese, wie die folgenden Mittheilungen sind aus dem Werke des jüngeren John Rennie: an account of the Breackwater in Plymouth Sound, London 1848, entnommen. Das Project von Bentham wird daselbst pag. 17 angedeutet.

er sehr genau den ersten Erfahrungen, die man an dem Cherbourger Damme gemacht hatte. Die Kronenbreite war zu 50 Fufs angenommen, die seeseitige Böschung sollte 4½fache und die binnenseitige 3fache Anlage erhalten.

In gleicher Weise, wie bei dem Cherbourger Damme sehr bald die Nothwendigkeit sich herausstellte, eine grössere Kronenhöhe zu wählen, so geschah dieses auch bei dem Bau vor Plymouth. Schon 1814 wurde daher bestimmt, daß die Krone 2 Fufs über den höchsten Springfluthen liegen solle, die Breite derselben wurde dabei jedoch auf 45 Fufs ermäßigt. Nach dem Sturme 1824, wobei das Profil des Dammes sich wesentlich veränderte, und genau dieselben Erscheinungen, wie bei dem Cherbourger Damme eintraten, indem die Steine von der seeseitigen Böschung über die Krone fortflogen und durch ihre Ablagerung auf der inneren Böschung diese bedeutend steiler darstellten, wurde wieder bestimmt, daß jene Böschung 5fache, diese aber nur 2fache Anlage erhalten sollte. Außerdem wurden die äußeren Flächen mit besonders großen Steinen bedeckt, und soweit es möglich war, aus diesen ein ziemlich regelmäßiges Pflaster gebildet.

Aus den mehrfach von dem Parlamente veranlaßten Untersuchungen über die passendste Einrichtung der Sicherheits-Häfen ergibt sich, daß der Wellenbrecher bei Plymouth auch nach Ausführung der erwähnten Verstärkungen keineswegs dem Andrang der Wellen widerstanden hat. Nach der im Jahre 1859 von der betreffenden Commission vorgelegten Profilzeichnung*) hatte der Damm inzwischen die in Fig. 111 dargestellte Form angenommen. Die seeseitige Dossirung hatte sich also sehr übereinstimmend mit der des Cherbourger Dammes gestaltet. Man war aber gezwungen gewesen, jene großen Blöcke, so weit sie zu Zeiten über Wasser traten, in Cement und zum Theil sogar in zwei Lagen über einander zu versetzen.

Als der Wellenbrecher bei Plymouth theilweise beendet war, wurde er das Vorbild für die Hafendämme bei Swinemünde. Die Anordnung derselben beruht also auf den Erfahrungen und Ansichten, zu welchen der Cherbourger Damm im Anfange dieses Jahr-

*) Report of the Commissioners appointed to complete the inquiry on harbours of refuge. Vol. I. London 1859.

hundreds geführt hatte. Diese Ansichten haben sich bei uns im Allgemeinen noch vollständig erhalten, obwohl die Erfahrungen in unsern Häfen fortwährend zeigen, daß es unmöglich ist, aus losen Steinen, wenn sie auch bedeutende Grösse haben, einen Damm darzustellen, der dem Wellenschlage sicher widersteht. Bei der geringen Zahl der Baumeister, welche Gelegenheit haben, diese Erfahrungen zu machen, und bei der grossen Zuversicht, womit diese Constructionsart gewählt und als die vorzüglichste dargestellt wurde, hat dieselbe, so oft sich Gelegenheit bot, nicht nur in allen Preussischen, sondern auch manchen andern Ostsee-Häfen Eingang gefunden. Selbst heutiges Tages wird sie bei uns noch unbedingt für die allein brauchbare gehalten. Es muß indessen sogleich darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Uebertragung des Profils des Wellenbrechers, wenn diese sich auch vollständig gerechtfertigt hätte, auf Hafendämme, doch immer Bedenken erregen mußte, weil an diese die Schiffe anlegen sollen, was bei den ersteren nicht geschieht. Die weit in die Häfen vortretenden Steinböschungen, die sich durch diejenigen Steine immer mehr verbreiten, welche die Wellen von der Seeseite aus herüberwerfen, sind unbedingt für die Schifffahrt höchst unbequem, besonders in engen Häfen. Man hat sich daher meist gezwungen gesehn, vor den Fuß der innern Böschung noch Pfahlwände, oder die sogenannten Gordungswände aufzustellen, die eine zu große Annäherung der Schiffe verhindern.

Bei den Swinemünder und demnächst auch bei allen übrigen Preussischen Hafendämmen ist man aber von der Constructionsart des Cherbourger und Plymouther Wellenbrechers in sofern abgewichen, als man die Kerne dieser Dämme aus Senkstücken darstellte. Veranlassung zu dieser Aenderung war ohne Zweifel der hohe Preis der Steine, es trat dabei jedoch der sehr große Uebelstand ein, daß viele Jahrzehnde hindurch ein fortwährendes Sacken bemerkt wird, das immer neue Ausbesserungen und Aufhöhungen der Krone nothwendig macht. Wenn man aber schliesslich diese wiederholten Aufhöhungen berücksichtigt, so ergiebt sich eine so starke Compression der Senkstücke, daß dieselben wahrscheinlich mit weniger Kosten durch Steinschüttungen hätten ersetzt werden können.

In den Ostsee-Häfen, wo Fluth und Ebbe höchst unbedeutend und kaum bemerkbar ist, wo ausserdem der Seewurm gar nicht vorkommt, erhält sich Kiefernholz bis zur Höhe des mittleren Wa-

standes so vollständig, daß nach vielfachen Erfahrungen in 30 50 Jahren durchaus keine Veränderung seiner Festigkeit bemerkt werden kann, es hat also wahrscheinlich eine hundertjährige und leicht noch längere Dauer, wie dieses in der That die Reste solcher alter Steinkisten zeigen. Hiernach dürften sich für unsere Küsten vorzugsweise Holz-Constructions empfehlen, die auch wirklich in früherer Zeit hier allein üblich waren, und sich im Allgemeinen auch sehr gut erhielten, bis sie endlich, wie erwähnt, plötzlich durch die Nachahmungen der früheren beim Cherbourger Damme angewendeten Methoden verdrängt wurden. Der Wellenbrecher bei Cherbourg veranlaßte daher auch bei uns eine vollständige Aenderung im Systeme des Hafenbaues. Er hat dieses später noch einmal und, wie es scheint, mit viel günstigerem Erfolge gethan, doch wider hat diese zweite Aenderung bis jetzt allein in England Eingang gefunden, und wenn sie bei uns durch manche Schriften auch bekannt geworden ist, so gilt sie dennoch im Allgemeinen nur als eine ungerechtfertigte und unpractische Neuerung.

§. 36.

Spätere Bauten bei Cherbourg.

Nachdem die ersten Vorbereitungen zur Erbauung des Central-orts auf dem Wellenbrecher bei Cherbourg getroffen waren, ruhen die weiteren Arbeiten eine lange Reihe von Jahren hindurch, doch ereigneten sich auch während dieser Zeit manche Umstände, die Erwähnung verdienen. Die Stürme veranlaßten wiederholentlich bedeutende Beschädigungen, und wenn auch die Profile sich im Allgemeinen erhielten, so wurden doch fortwährend in der ganzen Ausdehnung des Dammes die Steine von der seeseitigen auf die Binnen-Dossirung herübergeworfen. Auch die Brustmauer vor dem Steinhaufen, der zur Compression des Untergrundes aufgebracht war, litt wiederholentlich sehr bedeutend, woher man sich 1824 entschloß, dieselbe nicht mehr in losen Steinen, sondern in Cementmörtel auszuführen. Seit dieser Zeit wurde sie nicht mehr von den Wellen durchbrochen, sie erhielt aber auf der Seeseite einen sehr kräftigen Schutz gegen die von den Wellen aufgeworfenen

Steine, indem diese vor ihr liegen blieben, und eine geschlossene und feste Lage annahmen. Es gab sich überhaupt zu erkennen, daß die losen und besonders die großen Steine nur auf wenig geneigten Flächen ein Spiel der Wellen waren, dagegen von den letzteren nicht mehr bewegt wurden, sobald sie in einer steilen Böschung, und selbst in einer beinahe senkrechten Ablagerung auf einander ruhten. Die steile Böschung zeigte daher viel größere Haltbarkeit, als die flache.

Im Jahre 1828 kam der Marine-Minister nach Cherbourg und untersuchte nicht nur die Arbeiten des bereits seit geraumer Zeit begonnenen Kriegs-Hafens, sondern auch den Wellenbrecher. Die Erhöhung des letzteren wurde nunmehr für dringend nöthig erkannt, und daher eine genaue Prüfung seines gegenwärtigen Zustandes angeordnet.

Die im Jahre 1829 angestellten Profilmessungen ergaben Resultate, die von den frühern wesentlich verschieden waren. In beiden Flügeln hatte sich die Krone der Steinschüttung um 6 bis 10 Fuß gesenkt, so daß sie (mit Ausnahme des mittleren Theiles) wieder unter dem niedrigsten Wasser blieb. Der obere Theil der seeseitigen Böschung, der in der frühern Zusammenstellung der II. und III. Abtheilung entspricht, hatte eine sehr flache Neigung, nämlich eine 12fache Anlage angenommen, und in der Tiefe von 5 Meter unter dem niedrigsten Wasser, also auf der Grenze zwischen der III. und IV. Abtheilung, gab sich keine markirte Kante mehr zu erkennen, vielmehr setzte sich die erwähnte Böschung noch weiter abwärts und zuweilen bis zum Meeresgrunde fort.

In den beiden nächsten Jahren wurden nunmehr die Schüttungen mit kleinen Steinen wieder fortgesetzt, um zunächst den östlichen Flügel, der zuerst beendigt werden sollte, bis über das niedrige Wasser heraufzuführen.

Schon 1829 hatte der damalige Hafen-Ingenieur Fouques-Duparc das Project zum ferneren Ausbau des Wellenbrechers vorgelegt. Dasselbe kam anfangs nur mit einigen Modificationen zur Ausführung, doch später wurden auch die andern vorgeschlagenen Constructionen wieder angenommen und nachträglich eingeführt, welche die Behörde bei der Prüfung des Projectes anfangs nicht gebilligt hatte. Duparc, den ich bereits 1823 in Cherbourg fand, und

wohl ohne Zweifel einer der tüchtigsten Hafen-Ingenieure war, gelebt haben, hatte durch sorgfältige Beobachtung der Ernungen und durch überlegte Zusammenstellung derselben sich jenes Urtheil über die Mittel gebildet, durch welche man den Angriff der Wellen unschädlich machen und ihren zerstörenden Wirken ein Ziel setzen könne. Seine Ansichten haben gegenwärtig bei allen Hafen-Ingenieuren in Frankreich und bei den meisten den bedeutendsten in England, Eingang gefunden, und so ist Duparc der eigentliche Erfinder des neuen Hafenbaues, wie er sowol in England, als in Frankreich in einer grösseren Anzahl kolossaler Anlagen bereits ins Leben getreten ist, und nach bisherigen Erfahrungen sich vollständig bewährt hat. Es dürfte nach angemessen sein, dieses Project specieller zu bezeichnen. Dasselbe beruht wesentlich darauf, daß dem Angriffe des Meeres eine in sich fest verbundene und möglichst gleichartige Masse ausgesetzt werden darf, wobei also weder einzelne Theile sich leicht lösen, noch auch sehr verschiedenartige Senkungen eintreten können. Diese Auffassung ist durchaus verschieden von der bisher bei demselben Bau verfolgten, und sonach auch von jenen, die noch bei uns gilt, indem man im Gegentheile von einzelnen Steinen, welche der Wellenschlag in den passenden Stellen ablagern soll, sich die größte Widerstandsfähigkeit versprochen hatte. Alle Erfahrungen an diesem Wellenbrecher, wie auch sonst in allen Fällen, hatten bereits die Unhaltbarkeit dieser Ansicht sehr augenfällig dargethan. Dagegen hatte der fest verbundene Mauerkörper, der das elliptische Central-Fort tragen sollte, vom niedrigsten bis zum höchsten Wasser heraufreichte, der im Jahre 1812 dargestellt war, sich unbeschädigt erhalten. Eben so hatte die Brustmauer der äussern Batterie, 1824 und 1825 errichtet, obwohl sie nicht unter das höchste Wasser herabreichte und aus kleinen Steinen bestand, keine Beschädigungen erfahren. Besonders auffallend war es aber schon bei der Zerstörung des ersten Forts im Jahre 1808 gewesen, daß die wenigen gemauerten Theile sich unversehrt erhalten hatten. Auch andre Beispiele zeigen in der nächsten Umgebung von Cherbourg, daß grobe, wie feine Steine, wenn sie in Mörtel versetzt und mit vollen Fugen gemauert waren, durch den Wellenschlag nicht litten. Dieses be-

stätigte sich an den Dämmen vor dem Handelshafen, an der Straße, die nach dem Fort Homet führte, an dem Fort auf der Insel Pelle und an der östlichen Mauer vor dem Arsenal.

Duparc verglich die Kosten einer solchen Mauer mit denjenigen die Cachin in Betreff der gleich hohen Steinschüttung berechnet hatte, und es ergab sich, daß Beide sich beinahe gleich waren. Wenn dagegen diejenigen Kosten dem Vergleiche zum Grunde gelegt wurden, welche die Erhöhung des mittleren Theiles wirklich verursacht hatte, so stellte sich zu Gunsten der Mauer eine Ersparung von 13 Millionen Francs heraus. Die Kosten der Unterhaltung waren auch, selbst wenn man vielfache Beschädigungen voraussetzte, dennoch immer bei der Mauer viel niedriger, insofern die Erfahrung gezeigt hatte, wie sehr die Steinschüttungen beim Wellenschlage dauernd litten, und von Zeit zu Zeit immer neue und sehr bedeutende Ueberhöhungen nothwendig machten.

Der Verfasser dieses Projectes gab zu, daß man auch durch Ueberdeckung mit einzelnen Blöcken die Steinschüttung sichern könne, solche müßten aber so massenhaft sein, wie man sie unmöglich aus den Steinbrüchen abfahren und auf den Damm bringen könne. Es würde also nichts übrig bleiben, als an Ort und Stelle solche künstliche Blöcke zu bilden, die 12 bis 15 Cubikmeter (388 bis 464 Rheinländische Cubikfuß) halten müßten.

Jedenfalls sei es aber vortheilhafter, statt dieser isolirten Blöcke lieber eine einzige und zusammenhängende Mauermasse darzustellen, die sich vom Niveau des niedrigsten Wassers bis über die höchsten Fluthen erhebt, und eine angemessene Stärke hat. Sehr überzeugend wies er nach, daß dieses Project auch andern Vorschlägen vorzuziehn sei, welche einen Mittelweg zwischen der früheren und seiner Methode verfolgten, und sich theils auf eine senkrechte trockne Mauer von noch größerer Stärke, theils aber auf zwei schwächere in Mörtel ausgeführte Mauern bezogen, zwischen denen der freie Raum mit kleinen Steinen ausgefüllt werden sollte.

Die Mauer, welche Duparc vorschlug, sollte möglichst tief, also im Niveau des niedrigsten Wassers fundirt werden, und zwar hier auf einer Béton-Schüttung von $2\frac{1}{2}$ Fuß Stärke ruhen. Sie sollte aus Bruchsteinen in Mörtel 25 Fuß hoch aufgemauert, auf der Seite nach der See mit Granitquadern und auf der Seite nach der Rhede mit behauenen Sandsteinen verblendet werden. Eine Brustmauer,

Fuß hoch und 8 Fuß breit, müsse auf der Seeseite darauf gestellt werden. Die Breite der Mauer war unten zu 35½ Fuß und oben, wo der Verbindungs-Weg darüber führt, zu 29 Fuß angenommen. Alle diese Angaben beziehen sich auf Rheinländisches Fußmaß. Auf der Seeseite war die Mauer gegen das Loth im Verhältnisse von 1 zu 20, auf der Seite nach der Rhede dagegen von 1 zu 5 geböcht.

Die Mauer sollte sich ferner binnenvärts gegen eine Risberme von Sandsteinen, die 16 Fuß breit war, lehnen, und seewärts sollte zur Verhinderung von Ausspülungen die allergrößten natürlichen Steinblöcke vorgeworfen werden, jedoch nicht höher als 6½ Fuß über Null des Pegels, oder über den allerniedrigsten Wasserstand zu erheben, weil Duparc bemerkt hatte, daß in größerer Höhe die Steine viel leichter von den Wellen gehoben und umher geworfen wurden. Derselbe erwähnt dabei, daß es ganz überflüssig sei, eine solche Mauer durch vorgeschüttete Steine schützen zu wollen, weil dieselbe an sich die nöthige Stärke hat, und eines solchen Schutzes nicht bedarf.

Duparc nahm an, der stärkste Stoß der Wellen sei einem Drucke von 3000 bis 4000 Kilogrammen auf den Quadratmeter gleich, der Sicherheit wegen gab er indessen der Mauer solche Dicke, als sie noch dem Vierfachen dieses Stoßes widerstehn konnte. Nach den obigen Mittheilungen (§ 5) über die beobachteten Wirkungen der Wellen, wäre selbst die letzte Annahme noch nicht genügend, wenn die Mauer ihrer Länge nach sich trennen und einzelner Theil derselben durch die benachbarten nicht gehalten würde. Da jedoch dieser übermäßige Stoß niemals gleichzeitig die ganze Mauer, sondern immer nur einzelne Theile derselben trifft, so verhindert der Längenverband das Ausweichen der letzteren, so daß sie solchem Drucke ausgesetzt werden. Die in dieser Weise ausgeführte Mauer hat in der That von dem Stosse der Wellen gar nicht gelitten.

Die Commission, der dieses Project zur Prüfung vorgelegt wurde, erklärte sich in Betreff der Mauer mit demselben einverstanden, nur sorgte sie, daß auf der Seeseite leicht Vertiefungen sich bilden könnten, welche die Sicherheit bedrohen würden. Sie hielt es daher für nothwendig, hier noch eine Risberme von 22 Fuß Breite anzulegen, die in einer Béton-Schicht bestehn, jedoch wegen des zu

erwartenden ungleichen Setzens nicht mit derjenigen Schicht zusammenhängen sollte, worauf die Mauer steht. Schliesslich wurde noch angedeutet, dass zur Sicherung der Mauer an den beiden Enden des Dammes die Anwendung grosser künstlicher Steinblöcke nöthig sein werde.

Das Project wurde hiernach im April des Jahres 1832 genehmigt, und in demselben Jahre begann der Bau, und zwar auf dem östlichen Flügel des Dammes. Duparc vermuthete, wie sich auch in der That später zeigte, ein sehr starkes Setzen auf der losen Steinschüttung, und hütete sich daher, die Mauer sogleich in ihrer ganzen Höhe aufzuführen. Es wurden vielmehr auf grosse Längen immer nur wenige Steinschichten versetzt und diese blieben lange Zeit hindurch stehen, bevor andere darüber gebracht wurden. Wie nöthig diese Vorsicht gewesen, ergab sich in der That sehr bald, indem vielfache Risse in dem fertigen Mauerwerk sich zeigten, und zwar nicht nur nach der Quere, sondern auch nach der Länge. Eben so bemerkte man auch zuweilen, dass die Mauer nach einer oder der andern Seite etwas übergewichen war. Vorzugsweise zeigten sich diese ungleichmässigen Senkungen an den Stellen, wo die Steinschüttung sich an die alten Kegel anschloss. Sie waren jedoch nirgend so erheblich, dass man gezwungen gewesen wäre, einen Theil der Mauer aufzubrechen und neu aufzuführen. Es genügte vielmehr, die Fugen nur zu füllen und die nöthigen Ausgleichungen vorzunehmen, worauf die weitere Uebermauerung fortgesetzt werden konnte.

Wirkliche Beschädigungen zeigten sich nur in der seeseitigen Risberme. Das Wasser drang durch die Fugen der Steinschüttung unter die Bétonschicht, und da diese nicht belastet war, so wurde sie durch den Druck der anlaufenden Wellen gehoben und zerbrochen. Noch mehr geschah dieses aber, wenn die Wellen grosse Steinblöcke darüber schleuderten. So löste die Schicht sich sehr bald in einzelne kleinere Tafeln auf. Man liess dieselben zunächst noch über den Steinen liegen, doch endlich kamen auch die letzteren in Bewegung und nunmehr hatten die kleinen Béton-Platten kein passendes Lager, sie wurden daher von den Wellen gehoben und oft umgekehrt und weit umher geschleudert, so dass sie in kurzer Zeit zerschellten und ganz verschwanden. Um die Mauer ge-

gen Unterspülung zu sichern, wurden nunmehr große künstliche Blöcke aus Béton neben der Mauer versetzt. Damit diese über dem Untergrunde sich möglichst anschlossen, ohne daß der frische Mörtel von den Wellen ausgespült und fortgewaschen würde, so gab man den Kasten, worin die Blöcke geformt wurden, einen Boden von Leinwand, der sich auf die darunter befindlichen Steine auflegte, sobald der Béton darauf geworfen wurde. Auf solche Weise erhielten diese Blöcke eine sehr feste Lage, und nur in wenigen Fällen bemerkte man, daß sie sich etwas bewegten. Dieselben hatten indessen noch einen andern Zweck, nämlich die Baugrube, in welche das Bétonbette für die Mauer gelegt werden sollte, gegen das Eindringen von Steinen zu sichern. Man stellte sie daher $1\frac{1}{2}$ Fuß vor den äußern Rand der Mauer und zwar abwechselnd in der Richtung ihrer Länge und Breite, um Unebenheiten zu bilden, welche die großen natürlichen Decksteine aufhalten sollten, falls diese etwa längs der Mauer bewegt werden möchten. Die Bétonblöcke waren $9\frac{1}{2}$ Fuß lang, $6\frac{1}{2}$ Fuß breit und 3 Fuß hoch, hielten also nahe 200 Cubikfuß.

Obwohl die Stürme an dem eigentlichen Bau keine Beschädigungen verursachten, so zeigten sie doch Wirkungen, wie man solche bisher hier noch nicht wahrgenommen hatte. Von den großen Steinen, welche über die Mauer geschleudert wurden, ist schon früher (§ 5) die Rede gewesen, aber überraschend war es, als man sah, daß die Wellen beim Anschlagen an die nahe senkrechte Mauer sich in zusammenhängender Wassermasse 30 bis 40 Meter (96 bis 127 Fuß) hoch erhoben.

Bald nach dem Beginne des Baues wurde das Bedenken angeregt, daß die Erhöhung des östlichen Flügels, während der westliche in seiner geringen Höhe noch gelassen wurde, leicht Veranlassung zur weitem Ausdehnung der Sandbank geben könne, die sich von der Insel Pelée aus in die Rhede hineinzog. Es wurde daher sogar die Forderung gestellt, daß der westliche Flügel gleichzeitig in Angriff genommen werden solle. Duparc erklärte dieses für ganz unthunlich, und indem er 1834 genaue Sondirungen wieder vornehmen ließ, so konnte er den Nachweis führen, daß jene Bank, wenigstens in Betreff der Fünffaden-Linie seit dem Jahre 1789 sich nicht verändert habe.

1838 starb Fouques-Duparc, und Reibell, der Herausgeber der Vorträge, die Sganzin über Wasserbaukunst gehalten hatte (dritte Ausgabe), war sein Nachfolger.

Der Bau des östlichen Flügels schritt regelmässig weiter, und eine Aenderung trat vorzugsweise insofern ein, als man bisher die Anwendung des Cementes möglichst beschränkt hatte, um die Kosten nicht zu sehr zu steigern, während gegenwärtig, da die Preise sich bedeutend niedriger stellten, ein sehr grosser Vortheil in dem ausgedehnteren Gebrauche desselben gefunden wurde, da theils die Erhärtung schneller erfolgte, und theils auch spätere Beschädigungen weniger zu besorgen waren. Namentlich wurde darauf gesehen, dass jeder Theil der Mauer, den man in einem Jahre abschloss, sowohl in der Oberfläche, als auch am Ende mit einer starken Bétonschicht abgedeckt und eingeschlossen wurde.

Im Jahre 1839 war endlich der ganze östliche Flügel bis über das höchste Wasser herausgeführt, da jedoch die Sackungen noch keineswegs aufgehört hatten, so wurden die obern Schichten nebst der Brustmauer noch nicht aufgebracht, vielmehr wartete man hiermit, bis die Bewegungen sich nicht mehr zeigen würden. Die Oberfläche wurde wieder mit einer Béton-Lage abgedeckt, in welche man flache Steine eindrückte, um Beschädigungen vorzubeugen. Es muß aber gleich bemerkt werden, dass solche Beschädigungen in den nächsten Jahren keineswegs ausblieben, dass vielmehr der Mörtel stellenweise stark angegriffen wurde, und besonders geschah dieses, wenn zufällig das aufspritzende Seewasser keinen vollständigen Abfluss fand und auf der Mauer verdunstete.

Man begann in demselben Jahre den Ausbau des westlichen Flügels, und zwar mußte zunächst die Richtung desselben bestimmt werden. Es ergab sich aus den bisherigen Erfahrungen, dass die neuen Aufschüttungen einen ziemlich unsichern Untergrund bildeten, der unter dem Gewichte der darauf gestellten Mauer sich stark comprimirte, dass aber auch die älteren Schüttungen, die man auf der Binnenseite, oder auf der südlichen, aufgebracht hatte, selbst nach längerer Zeit noch nachgaben, was auf der Nordseite nicht der Fall war. Die Steine, welche von den Wellen hier angetrieben und dem Stosse derselben ausgesetzt gewesen waren, hatten eine bedeutend festere Lage angenommen, und trugen viel sicherer die Mauer, als jene unmittelbar aufgeschütteten Steine. Die

scheinung ist also genau dieselbe, die sich auch auf den sogenannten Riffen vor einem sandigen Strande zu erkennen giebt. Die seitige Dossirung derselben ist so fest, daß beim Darübergehn er fahren kaum eine Spur des Fusses oder des Rades zurückläßt, auf der innern Dossirung dieser Riffe sinkt man dagegen einmal einige Zolle tief ein und oft genug ist der Trieb sand dabei so tief ausgebildet, daß Pferde darin stecken bleiben. Mit Rücksicht auf diesen Umstand wurde die Richtungslinie des westlichen Flügels so ausgewählt, daß möglichst wenig Nachschüttungen auf der südlichen, oder der Binnenseite noch nöthig waren. Mit den erforderlichen Schüttungen, die also vorzugsweise auf der Seeseite erfolgten, wurde der Anfang gemacht, und demnächst in gleicher Weise, wie auf dem östlichen Flügel geschehn, der Bau der Mauer begonnen. Indem jedoch das Aufmauern der untern Schichten überaus zeitraubend war, weil es nur beim kleinsten Wasser folgen konnte, so hatte man in der letzten Zeit schon im östlichen Flügel die Aenderung eingeführt, daß statt der einen Bétonschicht, drei solche verlegt wurden, die bis zum mittleren Wasserstande heraufreichten, von denen die beiden obern jedoch in gleicher Weise, wie die frühere Mauer mit Granitquadern eingefasst waren.

1842 wurde endlich die Mauer auf dem östlichen Flügel in ihrer ganzen Höhe ausgeführt und mit der Brustmauer versehen. Die Breite der Mauer bis zur Brüstung maas 19½ Fuß, und man ließ dieselbe von der Binnenseite bis zur Brüstung 5 Zoll ansteigen, damit das Wasser möglichst vollständig abfließen konnte. Die Brustmauer dagegen erhielt bei 8 Fuß Breite ein Quergefälle von 1 Zoll nach der Seeseite. Die Eindeckung erfolgte auf der Mauer selbst mit gut schließenden Granitwürfeln, welche auf ein Bétongerüst mit vollen Mörtelfugen versetzt waren, die Brüstung dagegen wurde mit Granitplatten überdeckt. Man stellte auch gusseiserne Schiffshalter, oder Kanonen, in die Mauer, die jedoch wegen der großen Höhe der letzteren nicht leicht gebraucht werden dürfen, und dieses um so weniger, als gegen die Steinböschungen doch ein Schiff gelegt werden konnte.

Am Schlusse des Jahres 1842 hatte man die Fundirung des östlichen Flügels nahe 450 Ruthen weit ausgeführt, und großentheils auch die Uebermauerung begonnen, als im nächsten Winter

eine nochmalige genaue Aufnahme der Steinschüttung auf der übrig bleibenden Strecke dieses Flügels für nöthig erachtet wurde, weil es den Anschein hatte, als ob die gewählte Richtung nicht in die Krone der letzteren fiel. Es ergab sich in der That dabei eine auffallende Divergenz. Die Krone lag wirklich südwärts von der bisher verfolgten Richtung. Ein Irrthum in der vor drei Jahren ausgeführten Messung war ganz undenkbar, und die jetzige Abweichung liefs sich nur durch die Wirkung der Wellen erklären, die bei jedem Sturme sich sehr deutlich zeigte, und darin bestand, dafs die Steine von der nördlichen Böschung über die Krone fort nach der südlichen geworfen wurden. Auf diese Weise bewegte sich die ganze Schüttung und mit ihr die Krone, von Norden nach Süden.

Nachdem diese veränderte Lage des Dammes bemerkt war, dachte man zunächst daran, neue Steinmassen auf die nördliche Böschung aufzubringen, da aber die Transporte der Bruchsteine bereits als beendigt angesehen und die dazu dienenden Fahrzeuge grösstentheils verbraucht waren, so würde die Wiederbeschaffung von solchen nicht nur sehr kostbar, sondern auch sehr zeitraubend gewesen sein, und man entschlofs sich daher, den letzten Theil des Dammes in eine etwas veränderte Richtung zu legen. Die Aenderung wurde auf 1 Grad festgestellt.

Ein anderer Umstand, der einiges Bedenken erregte, bezog sich auf die älteren Béton-Fundirungen. Man bemerkte nämlich, dafs diese auf der Seeseite sich nicht vollständig erhalten hatten, besonders wenn sie zufällig entblöfst waren. Der Béton war bis etwa 1 Fuß weit unter der Mauer stark angegriffen und zum Theil ausgewaschen. Obwohl diese Beschädigungen bei kleinem Wasser durch Einbringen von neuem und besser erhärtendem Béton sich leicht wiederherstellen liefsen, und auch an sich nicht gefahrdrohend erschienen, so überzeugte man sich doch, dafs es zweckmäßiger gewesen wäre, wenn man auch dieses Fundament in gleicher Weise, wie die darauf ruhenden folgenden Schichten mit Granitquadern eingefafst hätte.

Dagegen war die seit einigen Jahren gemachte Erfahrung über die Bewegung der Steine sehr beruhigend. Wie sehr nämlich die letzteren und selbst die grössten derselben in früherer Zeit hin und her geworfen, und sogar über die begonnene Mauer hinüber ge-

leudert waren, so hörte Letzteres doch vollständig auf, sobald Mauer bis zur vollen Höhe aufgeführt und auf der Seeseite mit Brustmauer versehen war. Die Steine sammelten sich nunmehr dem Fusse derselben an, und bildeten eine sehr feste Ablage, die auch bei heftigem Wellenschlage nicht mehr in Bewegung gesetzt wurde. Dieses besagt die publicirte Beschreibung des Baues, ältere Erfahrungen scheinen jedoch hiermit im Widerspruche zu sein. Der Aufseher, der mich 1857 längs der Mauer führte, zeigte verschiedene Beschädigungen der Granit-Blöcke, welche die Brustmauer bedeckten, und erwähnte, daß diese von den darauf gestürzten Steinen herrührten. Er erzählte, daß bei jedem besonders heftigen Sturme noch große Bruchsteine über die bereits fertige Mauer geworfen würden, und daß sogar einmal einer der künstlichen Blöcke auf der südlichen Böschung gelegen habe, der also nothwendig denselben Weg gemacht haben mußte.

1853 wurde der westliche Flügel beendet. Die Erwartung, daß keine weiteren Senkungen eintreten würden, ging nicht vollständig in Erfüllung, es zeigten sich solche auch noch später und verursachten Quer-Risse, die $\frac{1}{2}$ auch wohl $\frac{3}{4}$ Zoll weit waren. Dabei konnten sich jedoch immer nur sehr große Theile der Mauer, so daß jeder einzelne derselben an sich schon hinreichende Widerstandsfähigkeit behielt, und keine Besorgniß für das Bestehen des ganzen Werkes erweckt wurde.

Was die Kosten der Mauer betrifft, so betrugen diese für das laufende Meter 4500 Francs, also für den laufenden Fuß Rheinländischen Maasses 381 $\frac{1}{2}$ Thaler.

Der Damm erfüllt nunmehr vollständig seinen Zweck, indem selbst bei den heftigsten Stürmen die Schiffe hinter ihm ohne Gefahr ankern und sogar sehr ruhig liegen. Die Frage, wie viele Schiffe daselbst Schutz finden, wird verschieden beantwortet, aber es ist sicher sollen vierzig große Schiffe hier liegen können, ohne daß ein Gegenstoßen derselben besorgt werden darf, besonders wenn Theil von ihnen Dampfschiffe sind, welche die freien Ankerstellen genau einnehmen können.

Endlich bleibt noch das Bedenken, daß die Rhede nach und nach durch den hinzutreibenden Sand und Kies sich verflachen möchte. Diese Besorgniß wird durch die bisherigen Erfahrungen nur in geringem Maasse bestätigt und die Verlandungen treten sehr

langsam ein. Bonnin, aus dessen Beschreibung*) dieses Baues die vorstehenden Mittheilungen entnommen sind, macht hierbei die Bemerkung, daß bei der gegenwärtigen Wirksamkeit der Dampfbagger und bei der großen Abstillung des Wassers auf der Rhede die nach und nach eintretenden Verflachungen alle Bedeutung verloren haben. Derselbe ist der Ansicht, daß es sogar zweckmäßiger gewesen wäre, die beiden Zugänge in höherem Maasse zu beschränken, um das Eindringen feindlicher Schiffe sicherer zu verhindern, wenn dadurch auch die Verlandung bedeutend befördert worden wäre.

Schließlich dürfte es angemessen sein, zur nähern Beschreibung der in Rede stehenden Mauer noch einige Erläuterungen über die Ausführung derselben mit Bezug auf das Profil Fig. 112 hinzuzufügen. In dieser Zeichnung, welche die wirkliche Ausführung darstellt, ist die Steinschüttung, soweit sie vor dem Beginne aufgebracht war, besonders markirt. Dieselbe hatte aber meist eine starke seeseitige Neigung angenommen, woher sie zunächst aufs Neue mit Steinen überschüttet werden mußte.

Zur Seite dieses Profiles sind die verschiedenen Wasserstände nach dem dortigen Pegel, und zwar im metrischen Maasse, angegeben. Der Nullpunkt liegt in der Höhe des niedrigsten Wassers, er entspricht also dem Niedrigwasser bei Aequinoctial-Springfluthen, das Hochwasser zur Zeit der letzteren stellt sich auf 7,15 Meter ($22\frac{3}{4}$ Fufs Rhl.). Bei gewöhnlichen Springfluthen steigt das Wasser von 0,70 bis 6,30 Meter, und bei todtten Fluthen von 2,45 bis 4,80 Meter.

Eine Bétonschicht, die ein wenig seewärts geneigt ist, bildet das Fundament der Mauer. Vor derselben befindet sich ein Bétonblock, der an Ort und Stelle und zwar in einem Kasten mit Boden aus Leinwand gebildet ist. Gegen diesen lehnen sich große natürliche Steine. Auf der Binnenseite erhebt sich dagegen die aus Steinschüttung bestehende und mit regelmässigen Pflastersteinen überdeckte Risberme bis zur Höhe der zweiten Bétonschicht. Die nächste Bétonschicht bildet einen Theil der Mauer und ist wie diese mit Granitquadern an beiden Seiten verblendet. Die untere Lage der letzteren ruht indessen auf flachen besonders harten Steinen, wel-

*) Travaux d'achèvement de la digue de Cherbourg par J. Bonnin. Paris 1857.

che einen niedrigen Sockel bilden und im Innern hintermauert sind.

Eine dritte Bétonschiicht liegt endlich noch auf der zweiten, und mit dieser schließt der Theil der Mauer, der im ersten Jahre aufgeführt wird. Dieses geschieht in der mit I I bezeichneten Linie. Im zweiten Jahre erreicht die Mauer die Höhe der Linie II II. In diesem Theile besteht der Kern in lagerhaften Bruchsteinen, die in möglichst gutem Verbande in gewöhnlichem hydraulischen Mörtel, zuweilen mit einem Zusatze von künstlicher Puzzolane vermauert werden. Sowol auf der innern, wie auf der äussern Seite befindet sich eine Verblendung von Granitquadern. In gleicher Weise erfolgt im dritten Jahre die fernere Erhöhung bis III III, die jedoch nur wenige Fusse beträgt.

In diesem Zustande bleibt die Mauer einige Jahre hindurch stehen. Wenn man endlich kein weiteres Setzen bemerkt, oder wenn die Beendigung nicht länger verschoben werden kann, so wird der obere Theil mit der Brustmauer und den Schiffshaltern, oder Kanonen, hinzugefügt. Die äussere Kante der Brustmauer liegt 34 Fufs 8 Zoll über dem Nullpunkte des Pegels, oder über dem allerniedrigsten Wasser, und die innere Kante der Brustmauer 34 Fufs 10 Zoll. Der Weg auf der Mauer hat neben der Brüstung die Höhe von 29 Fufs 7 Zoll, und auf der Seite nach der Rhede von 29 Fufs 2 Zoll. Die Breite der Brustmauer misst 8 Fufs, die des Weges ist jedoch auf den beiden Flügeln etwas verschieden, nämlich auf dem östlichen Flügel 19 Fufs 7 Zoll und auf dem westlichen 20 Fufs 3 Zoll. Ueber die Ausführung des Weges wäre nur zu bemerken, daß er mit regelmässig bearbeiteten Granit-Blöcken gepflastert ist, die auf einer 1 Fufs starken Bétonlage ruhen. Sehr grosse Granitquadern überdecken die äussere Verblendung und sind durch kupferne Klammern mit einander verbunden.

Von den Festungswerken oder den kleinen Forts auf dem Wellenbrecher ist bisher wenig die Rede gewesen. Dieselben können an sich auch unberührt bleiben, und es kommt nur darauf an, die Mittel namhaft zu machen, wodurch sie gegen die See geschützt sind. Sie treten auf der Seeseite vor die beschriebene Mauer vor und bedürfen daher eines ganz besonderen Schutzes. Dieser ist ihnen dadurch gegeben, daß sehr grosse künstliche Blöcke, nämlich von 20 Cubikmeter oder 647 Cubikfufs, auf die Stein-Bö-

schung ziemlich nahe neben einander gelegt sind, und diese soweit bedecken, wie die Welle die natürlichen Steine noch in Bewegung setzt. Die Blöcke sind 12 Fuß 1 Zoll lang, 8 Fuß 7 Zoll breit und 6 Fuß 4 Zoll hoch. Sie sind auf den höchsten Theilen der Böschung an Ort und Stelle ausgeführt, sonst aber auf besondern Baustellen geformt, und nachdem sie hinreichend erhärtet waren, zur Zeit des Hochwassers mit großen Böten, unter die sie gehängt wurden, an die zu ihrer Ablagerung bestimmten Orte gebracht. Bis zum Jahre 1855 waren im Ganzen 2111 solcher Blöcke geformt und verlegt. Auf der nördlichen und westlichen Seite des westlichen Forts, das besonders bedroht wurde, lagen 996 derselben, vor dem später hinzugekommenen Fort auf der Mitte des westlichen Flügels 240, vor dem Central-Fort 53 und vor dem Fort auf dem östlichen Ende des Dammes 822. Ob die Zahl derselben seitdem noch bedeutend vermehrt worden, ist unbekannt. Es scheint, daß man nur neue hinzufügt, wo zufällig einzelne Stellen der Böschung sich entblößen. Das Central-Fort ist nach dieser Zusammenstellung am wenigsten geschützt, aber hier hat man in neuerer Zeit eine andere und gewiß viel kräftigere Sicherungs-Maafsregel in Anwendung gebracht. Als ich nämlich 1857 dort war, sah ich, daß man vor dem Fusse der Mauer nicht einzelne Blöcke formte, vielmehr die ganze Böschung im Zusammenhange in der Stärke der Blöcke, also 6 Fuß 4 Zoll hoch mit Bruchsteinen übermauerte. Der Mörtel, den man dabei benutzte, band so schnell, daß bei dem Uebertreten der nächsten Fluth über das frische Mauerwerk keine Fuge ausgespült wurde. Man beobachtete freilich die Vorsicht, daß man beim jedesmaligen Abschlusse nur ziemlich schmale Mörtelfugen darstellte, und die Oberfläche grossentheils aus den breiten Flächen der natürlichen Steine bildete. In demjenigen Theile des Mauerwerks, der am Tage vorher ausgeführt war, über den also bereits zwei Fluthen gegangen waren, hatte der Mörtel solche Festigkeit angenommen, daß man ein Messer nicht mehr hineinstossen konnte.

Nach diesen günstigen Erfahrungen und zwar an einer Meeresküste, wo der Wellenschlag viel kräftiger, als an der Ostsee ist, wird man ohne Zweifel keinen Anstand nehmen können, auch in unsern Häfen die Dämme oder Molen, nachdem die Steinschüttungen unter Wasser sich gehörig fest abgelagert und gesetzt haben, nicht mehr aus einzelnen großen Steinblöcken aufzupacken, sondern

aus kleineren und wo möglich aus lagerhaften Bruchsteinen aufzumauern. Die Kosten werden hierdurch in hohem Grade ermäßigt, da jene großen Steinblöcke, die aus Schweden bezogen werden, überaus theuer sind. Außerdem wird man bei Anwendung eines guten hydraulischen Mörtels eine viel größere Sicherheit erreichen, also auch die Unterhaltung erleichtern, und endlich eine mehr geregelte Krone darstellen, auf der man noch sicher gehn kann, wenn auch einzelne Wellen hinüberschlagen. Es ist überaus schwer, einer neuen Methode Eingang zu verschaffen, besonders wenn die Ansicht allgemein verbreitet ist, daß die bisherige Methode (die Nachahmung des vor 60 Jahren am Cherbourger Damme angewendeten Verfahrens) die absolut beste sei. In Swinemünde, wie auch in Colbergmünde wird seit einigen Jahren das Vermauern kleiner Steine stellenweise versucht, und wie nicht anders zu erwarten, haben diese Stellen bisher nicht die geringste Beschädigung gezeigt. Man darf sonach wohl hoffen, daß die hier beschriebenen höchst wichtigen neuen Methoden, die beim Cherbourger Damme zuerst versucht wurden, endlich auch bei uns Eingang finden werden. In Frankreich hat man bereits vielfach, wie bei Marseille und Cette, davon Gebrauch gemacht, und in England ist dieses gleichfalls bei den großartigen Hafen - Anlagen von Holyhead und Portland geschehn.

Schließlich mag noch erwähnt werden, daß die Ausführung des Forts auf dem westlichen Ende des Dammes sogleich großes Bedenken erregte. Die Steinschüttung daselbst war nämlich stark abgewaschen, und mußte daher bedeutend erhöht werden. Die Ingenieure wünschten eine starke Belastung aufzubringen, damit vor der Ausführung des Werkes der Untergrund sich gehörig fest lagern möchte. Es fehlte indessen theils an Gelegenheit, das hierzu erforderliche Steinmaterial beizuschaffen, theils aber drang die Regierung auch darauf, daß das Fort möglichst bald erbaut und besetzt würde. Der Bau wurde daher 1848 begonnen und 1850 bereits beendet. In demselben Jahre wurde das Fort auch schon ausgerüstet und besetzt. Als ich 1857 dort war, hatte man es indessen längst wieder verlassen müssen, indem die Mauern an mehreren Stellen so gefährlich gerissen waren, daß der vollständige Einsturz vorauszusehn war. Man hatte nunmehr den ganzen innern Raum etwa 30 Fuß hoch mit Steinen ausgepackt, um den Untergrund endlich zum

Stehn zu bringen, und es war Absicht, daß wenn dieser Zeitpunkt eingetreten wäre, das ganze Fort niedergerissen und aufs Neue wieder erbaut werden sollte.

Damit man selbst bei starker Wellenbewegung bequem zu diesen Forts gelangen kann, sind neben dem Fort Central zwei kleine mit hohen Mauern eingeschlossene Häfen erbaut, zu welchen steinerne Treppen herabführen, und an jedem der beiden äußern Forts befindet sich gleichfalls ein solcher Hafen. In Fig. 108 sind dieselben angedeutet.

Der ganze Wellenbrecher hatte von seinem ersten Beginne ab, also mit Einschluss der ursprünglichen Kegel und mit Inbegriff der Mauer auf der Steinschüttung, der kleinen Häfen und der Fundierungen der Festungswerke 66,862274 Francs gekostet. Seine Länge misst zwischen den beiden Einfahrten zur Rhede 3712 Meter oder 11827 Rheinl. Fuß. Der laufende Fuß kostet also etwas über 1500 Thaler.

Endlich bleibt noch des Kriegshafens zu erwähnen, der besonders in sofern wichtig ist, als er in neuerer Zeit entstand, und daher nicht wie andre, sich nach und nach ausbildete, indem die später bemerkten Bedürfnisse nach Möglichkeit berücksichtigt wurden, er vielmehr vor funfzig Jahren auf einem ganz freien und hinreichend ausgedehnten Terrain erbaut wurde, wo man Gelegenheit hatte, allen damaligen Anforderungen in der passendsten Weise zu entsprechen. Es läßt sich freilich nicht in Abrede stellen, daß auch seit dieser Zeit die Ansichten sich vielfach bereits geändert haben, auch das ursprüngliche Project nicht vollständig, sondern mit manchen wesentlichen Modificationen zur Ausführung gelangt ist, aber dennoch zeigt er in weit höherem Maasse einen innigen Zusammenhang und eine passende Anordnung, als man sonst bei ähnlichen Anlagen bemerkt.

Ich muß sogleich erwähnen, daß es mir nicht möglich war, über alle Einzelheiten dieses Hafens bestimmte Nachrichten zu sammeln, und daher sowol das Geschichtliche, als auch die angegebenen Dimensionen nur annähernd richtig sind. Doch hoffe ich, daß keine bedeutenden Irrthümer in dieser Beziehung vorkommen werden, indem ich theils bei zweimaligem Besuche des Hafens mich bemühte, die Maasse durch Schätzung zu bestimmen, theils aber in

verschiedenen Schriften auch Angaben hierüber enthalten waren, wenigstens annähernd mit einander übereinstimmten.

Der Kriegshafen ist in der Situations-Zeichnung der Rhede Fig. 8 bereits angedeutet, außerdem im größeren Maaßstabe Fig. 113 dargestellt. Zunächst mag dieser letzte Plan, aus einer lithographirten Zeichnung entnommen, speciell erklärt werden.

Das ganze eigentliche Marine-Etablissement ist mit einer hohen Mauer umgeben, welche durch die stark ausgezogene Linie bezeichnet ist.

Litt. 1. zeigt den Haupt-Zugang, welcher der Stadt zugehört ist,

2. sind acht andere Zugänge, die sich rings umher in der Mauer befinden,

3. der Vorhafen,

4. das ältere, daneben befindliche Bassin, oder der nördliche Flotthafen,

5. das neuere Bassin, oder der westliche Flotthafen,

6. der Hafen Chantereyne, der nicht sowol von den Fahrzeugen der Kriegs-Marine benutzt wird, als vielmehr von andern Schiffen, die Materialien und Güter herbeiführen,

7. die Proviant-Magazine, neben dem letzteren,

8. geneigte Fläche zum Aufschleppen von Böten und kleineren Fahrzeugen, neben demselben Hafen,

9. großes Magazin für Schiffsbauholz,

10. die Hauptwache neben dem ersten Eingange,

11. das Admiraltäts-Gebäude,

12. die Büreaus für den Schiffsbau,

13. das Gießhaus,

14. Schmieden, Hammerwerke und Maschinenbau-Anstalten,

15. das Arrest-Local, neben der Wache,

16. die Caserne der Marine-Artillerie,

17. die Hafen-Gensd'armerie,

18. Caserne der Marine-Infanterie,

19. Raum zu Casernen für Linientruppen reservirt,

20. verschiedene Kohlenplätze. neben dem Vorhafen und bei den Bassins,

21. Kochhäuser am Vorhafen und am nördlichen Bassin,

22. das alte Trocken-Dock, das schon gleichzeitig mit dem Vorhafen erbaut wurde,
 23. vier überdeckte Hellinge zu beiden Seiten des letzteren,
 24. der Hauptpegel, neben dem Vorhafen,
 25. Materialien-Büreaus,
 26. fünf Schuppen für verschiedene Materialien, wie Theer, Werg, Farben, Ketten und dergleichen,
 27. Dampfmaschinen-Gebäude zum Auspumpen des Trocken-Docks auf der Südseite des westlichen Bassins,
 28. sieben Trocken-Docks am westlichen Bassin. Zwei derselben sind zur Aufnahme von je zwei Schiffen eingerichtet,
 29. Schuppen zur Aufbewahrung von Hölzern,
 30. sieben Hellinge an der Westseite des westlichen Bassins,
 31. großes Reservoir für süßes Wasser, nebst Vorrichtung zum Filtriren desselben,
 32. Hafenbau-Büreaus,
 33. Magazin für verschiedene Materialien und Geräte. Hier befindet sich auch die Dampfmaschine zum Auspumpen der daneben befindlichen Trocken-Docks,
 34. Kesselschmiede und Schlosser-Werkstatt,
 35. Hauptverwaltung des Hafens,
 36. Schuppen zur Aufbewahrung und Bearbeitung der Masten,
 37. Graben, worin die Stämme versenkt werden, die zu Masten verarbeitet werden sollen,
 38. Direction der Marine-Artillerie.
- Außerhalb der Mauer, jedoch noch innerhalb der Festungswerke befinden sich:
39. Versamlungs-Local für die Offiziere,
 40. Caserne der Linien-Infanterie,
 41. Militär-Hospital, und
 42. Land-Artillerie.

Endlich:

43. die Seilspinnerei und Blockmacherei liegt außerhalb der Festungswerke.

Der Bau des Hafens wurde unter Napoleon I begonnen. Das Terrain war ein unregelmäßiges ziemlich niedriges Felsenufer, in welchem sich einzelne Stellen von großer Tiefe vorfanden. Eine solche wurde zur Mündung des Vorhafens bestimmt. Man

ichte mit der Darstellung der beiden abgerundeten Köpfe den Anfang, welche den Eingang zum Vorhafen bilden sollten. Dieben wurden mit einer möglichst dicht schliessenden Holzwand umgeben, die aus einzelnen Balken bestand, die zwischen Zwingen zum Felsboden herabgestossen waren. (Dieses Verfahren ist im ersten Theile dieses Handbuches § 47 beschrieben.) Innerhalb dieser Wände wurde bis zur Höhe des niedrigsten Wassers Béton errichtet, und darüber wasserdichte Umschließungs-Mauern gestellt. Die Fundamente für die beiden Leuchthürme, die indessen auch gegenwärtig noch nicht erbaut sind, wurden darin gleichzeitig ausgeführt. Dasselbe Verfahren wurde auch an allen Stellen in der absichtigten Uferlinie angewendet, wo die Felsen sich nicht bis über das Hochwasser erhoben, indem es darauf ankam, letzteres von dem Vorhafen und dem nördlichen Bassin vollständig abzuhalten. Die sämtlichen Kais neben dem Meere, so wie auch die erwähnten Hafenköpfe liegen 10 Fuß über den Aequinoctial-Springen.

Es kam nunmehr darauf an, die Oeffnung zwischen diesen beiden Köpfen zu schliessen, und dieses geschah mittelst eines kolossalen Fangedammes, den man unter Anbringung vielfacher Verankerungen im Jahre 1807 darstellte, und ihn auch mit der unregelmässigen Sohle und den Seitenwänden so dicht verband, daß er nur wenig Wasser durchliess.

Der Boden bestand aus Grauwacke, die in der Tiefe in Granit überging, während oben vielfach Thonschiefer, Gneufs und nicht selten auch reiner Quarz vorkam. Bis 30 Fuß unter dem niedrigsten Wasser mußte die Sohle des Vorhafens ausgehoben werden, wozu es konnte grossentheils nur durch Sprengen geschehn, während man später, da Alles im Trocknen ausgeführt wurde, durch Nacharbeiten aus freier Hand den Boden und die Wände, soweit letztere aus festem Granit bestanden, ebnete. Dieses feste Gestein fand sich grossentheils nur in der Tiefe vor, darüber mußten aus Granitquadern Blendmauern aufgeführt werden. Um den Vorhafen später nicht aufs Neue trocken legen zu dürfen, wurden sogleich die Eingänge zu den Schleusen-Canälen ausgeführt, die denselben mit den beiden Flotthäfen verbinden sollten, und es wurden die nöthigen Vorrichtungen getroffen, um während des Baues der letzteren hier wasserdichte Abschlüsse darstellen zu können.

Der Vorhafen ist etwa 75 Ruthen lang und 64 Ruthen breit. Seine Umfassungsmauern, die sich noch einige Füsse über Aequinoctial-Springfluthen erheben, sind von der Sohle gemessen etwa 57 Fufs hoch. Die Mündung nach der Rhede ist an der schmalsten Stelle 204 Fufs weit. Am 27. August 1813 war dieser Theil des Baues fertig und in Gegenwart der Kaiserin wurde feierlich der Fangedamm mit einigen Oeffnungen versehen, wodurch bei steigender Fluth das Wasser einströmte und endlich den ganzen Damm durchbrach. Ehe dieses geschah, segelte die Kriegsflotte, die auf der Rhede lag, dicht am Fangedamme vorüber, und das Schauspiel schien einen ernsteren Charakter anzunehmen, als gerade in dieser Zeit ein Englischer Kreuzer bis nahe an den Wellenbrecher herankam, jedoch nur ein ruhiger Zuschauer der Feierlichkeit blieb.

Als ich im Frühjahr 1823 in Cherbourg war, wurde das nördliche Bassin in gleicher Weise wie früher der Vorhafen vertieft. Es erhielt dieselbe Tiefe, wie dieser. Es ist gleichfalls 78 Ruthen lang, jedoch nur 58 Ruthen breit. Zwei Thorpaare, die eine Oeffnung von 60 Fufs schliessen, und die in entgegengesetzten Richtungen stemmen, können sowol einen höheren, wie auch einen niedrigeren Wasserstand darin erhalten.

Am südlichen Ende des Vorhafens und zwar in der Achse desselben befand sich damals bereits das Trocken-Dock, und zu beiden Seiten desselben vier Hellinge, von denen drei mit starken durchbrochenen Mauern umgeben und überdacht waren. Ein Quell süßen Wassers floss aus dem Granit hervor, worin das Trocken-Dock ausgebrochen war, man hatte ihn eingefasst und mit einem Hahn geschlossen. In diesem Dock wurde ein Linienschiff gebaut, das damals Duc de Bordeaux hiefs, das aber bei dem jedesmaligen Wechsel der Regierung einen andern Namen erhielt, und als es endlich nach Jahren fertig wurde, durch die feuchte Luft in dem Dock so sehr gelitten hatte, daß man zweifelhaft war, ob es überhaupt noch ausgerüstet werden sollte.

Der letzte Umstand verursachte eine bedeutende Aenderung in dem ganzen Hafen-Projecte. Die großen Vorthelle, welche Trocken-Docks nicht nur bei der Reparatur, sondern auch beim Neubau von Schiffen zu bieten schienen, waren Veranlassung gewesen, daß eine sehr große Anzahl derselben in dem Kriegshafen projectirt war. Das dritte oder westliche Bassin sollte nämlich nach dem

Projecte, welches in dem Memoire von Cachin dargestellt ist, eine halbkreisförmige Gestalt erhalten, und mit der geraden Seite oder dem Durchmesser sich an den Vorhafen und an das nördliche Bassin lehnen, indem es mit beiden durch Schleusen in Verbindung stand. In dem ganzen Umfange des Halbkreises sollten aber in radialer Richtung, möglichst nahe neben einander, fünfzehn Trocken-Docks erbaut werden. Nach der erwähnten sehr unangenehmen Erfahrung hat man indessen hiervon Abstand genommen, und es befinden sich neben dem westlichen Bassin, welches gleichfalls eine oblonge Form erhalten hat, nur sieben Trocken-Docks, jedoch auch eben so viele Hellinge. Bei Neubauten von Schiffen sollen letztere ausschließlich benutzt werden.

Im Jahre 1857 war das westliche Bassin beinahe bis zu seiner vollen Tiefe ausgehoben und mit Mauern eingefasst, auch waren die Schleusenhäupter in den beiden Verbindungen nahe beendet. Die Schleuse nach dem Vorhafen hatte eine bedeutend größere Weite erhalten, die einige achtzig Fuß zu messen schien. Auffallend war es, daß auf den Hellingern der Neubau von Schiffen schon seit längerer Zeit begonnen war, so daß diese gleichzeitig mit dem Bassin fertig werden und sogleich ablaufen sollten, wie letzteres sich mit Wasser füllte. Auch dieses Bassin wurde eben so tief, wie der Vorhafen ausgehoben.

Ein sehr bedeutender Uebelstand besteht darin, daß zur Zeit des niedrigen Wassers die größeren Schiffe weder in den Vorhafen einlaufen, noch denselben verlassen können, weil auf dem anschließenden Theile der Rhede noch die nöthige Wassertiefe fehlt. Man war damals mit Sprengungsarbeiten beschäftigt, die jedoch, wie mir gesagt wurde, wegen der vielfachen Unterbrechungen nur sehr langsam vorschritten.

Schließlich mag noch des Süßwasser-Bassins und der Filtriranstalt erwähnt werden, die sich in dem Gebäude Litt. 31 des Planes befindet. Letzteres ist etwa 180 Fuß lang und 100 Fuß breit. Es enthält im Innern einen ganz freien Raum, durch welchen nur der Länge nach zwei Reihen von je zwölf Pfeilern hindurchführen, die das Gewölbe tragen. In den Umfassungsmauern sind keine Fenster angebracht, weil es Absicht war, nicht nur den Zutritt der Luft, sondern auch des Lichtes abzuhalten, um möglichst jeden Organismus vom Wasser zu entfernen.

Rings um die Umfassungsmauern zieht sich im Innern des Gebäudes ein etwa 15 Fuß breiter Canal hin, dieser enthält das bereits filtrirte Wasser. Hinter demselben und zwar an der einen Giebelseite befindet sich das Bassin, in welches der Bach, die Divette, hineingeleitet wird, und aus diesem fließt das Wasser in das Filtrum, welches den ganzen übrigen Raum einnimmt. Der Canal soll über 8000 Tonnen, also etwa 26000 Cubikfuß halten. Mittels einer Dampfmaschine wird das filtrirte Wasser in die Röhrenleitungen zur Seite der Bassins, und aus diesen durch Schläuche unmittelbar in die Wasserbehälter der Schiffe getrieben.

Fünfter Abschnitt.

Die Hafenmündung.



§. 37.

Local-Untersuchungen.

Wenn die passende Anordnung des ganzen Seehafens, und sonach auch die des Binnenhafens mit seinen verschiedenen Einzelheiten, die genaue Untersuchung der localen Verhältnisse dringend fordert, so sind die dabei nöthigen Aufnahmen, Nivellements, Tiefenmessungen, Bohrungen und dergleichen doch dieselben, welche mehr oder weniger bei andern baulichen Anlagen vorkommen. Die richtige Wahl und Einrichtung der Hafenmündung ist dagegen so sehr durch äussere Umstände bedingt, daß diese mit ganz besonderer Vorsicht ermittelt und berücksichtigt werden müssen. Wie bereits früher angedeutet worden, und später noch ausführlich nachgewiesen werden wird, läßt sich das tiefe Fahrwasser in und vor der Hafenmündung nur sehr selten unmittelbar durch mechanische Nachhülfe offen erhalten, vielmehr thut dieses allein eine anhaltende oder periodisch wiederkehrende Strömung, und man muß daher, so oft es sich um die Einrichtung eines neuen Hafens, oder um die Verbesserung eines bestehenden handelt, sich genaue Kenntniss davon verschaffen, ob und in welchem Maasse Verflachungen zu besorgen sind, und welche Mittel die örtlichen Verhältnisse bieten, um dieselben mit Erfolg zu beseitigen. Die Local-Untersuchungen sind daher in diesem Falle in solcher Ausdehnung erforderlich und zugleich müssen sie sich auf so viele Umstände erstrecken, daß es nothwendig erscheint, bei dieser Gelegenheit ihrer besonders zu erwähnen.

Vorzugsweise ist eine genaue Aufnahme der Küste bei dem gewöhnlichen Wasserstande, oder wenn Fluth und Ebbe stattfindet, bei bestimmtem Hoch- oder Niedrigwasser nothwendig. Dabei müssen

zugleich die Flussmündungen und sonstigen Wasser genommen werden, so wie auch diejenigen Baulichkeiten Ufer, Dünen und dergleichen, die bei der Hafen-Anlage kommen. Um jedoch an diese Situation auch sichermessungen nebst den Aufnahmen der Inseln, Klippbänke anschließen zu können, so sind die scharf und weit sichtbaren Festpunkte, wie Thurmspitzen, Windm von Gebäuden und andre, mit großer Sorgfalt zu bezeichnen. Sollten diese für die in der See auszuführenden Messungen genügen, so müssen noch andre passende Signale gleichfalls festgelegt werden. Endlich ist es aber notwendig einzelne Punkte, die zum Aufstellen von Meßinstrumenten dienen, durch fest eingegrabene Pfähle oder Steine zu bezeichnen. Die Lage derselben gleichfalls sicher zu bestimmen, da diesen aus jederzeit die Messungen mit Leichtigkeit vervollständigen kann, wenn man etwa gewisse Punkte im Fahrwassern durch eingesteckte Stangen oder Bäume hat.

Um die verschiedenen Festpunkte mit Sicherheit einzutragen, und andere zugleich eben so sicher von denen aus man nach diesen gemessen hat, so ist es nöthig, eine vollständige trigonometrische Operationen Messung zum Grunde zu legen und diese zugleich mit einfachen astronomischen Messungen zu verbinden. Die Bestimmung des Meridians dienen. Will man die Operationen mit der Boussole machen, oder vielleicht auch den Compass anwenden, um einige Punkte neben den ausgezeichneten zu bestimmen, so muß die Abweichung der Magnetnadel ermittelt werden.

Die Lage der verschiedenen, sowol auf dem Lande als dem Wasser festgelegten Punkte stellt sich am übersichtlichsten und ist auch am bequemsten und sichersten in die Zeichnung zu bringen, wenn man jeden Punkt durch rechtwinklige Dreiecke bestimmt. Als Anfangspunkt derselben wählet man besonders vorragenden und scharf markirten, zugleich einen solchen Gegenstand, der voraussichtlich lange Zeit unverändert bleibt, wie etwa den Leuchthurm, wenn er dem Hafen steht, oder einen Kirchthurm. Die Abcissen

man alsdann in den Meridian, und stelle tabellarisch die Lage aller trigonometrisch gemessenen Punkte nach Abscissen und Ordinaten zusammen, indem man durch das positive oder negative Zeichen bemerklich macht, daß sie sich in einer oder in der entgegengesetzten Richtung von dem gewählten Anfangspunkte befinden.

Soweit diese Messungen auf dem Lande ausgeführt werden, so ist darüber nichts hinzuzufügen, indem vorausgesetzt werden muß, daß der Hafenbaumeister hiermit bekannt ist und zugleich die nöthige Uebung darin besitzt, auch daß er es versteht, durch hinreichende Controlen und richtige Beurtheilung der Sicherheit seiner Arbeiten solche Fehler zu vermeiden, welche die Brauchbarkeit der Messung in Zweifel stellen könnten. Zur Festlegung einzelner Punkte in der Wasserfläche kann man dieselben durch eingesteckte Stangen oder sogenannte Baaken bezeichnen, die man vom Ufer aus mit dem Meßinstrumente einschneidet. Die Tonnen, welche das Fahrwasser bezeichnen, wird man zwar jedesmal auch in dieser Weise in die Charte eintragen, da sie jedoch ihre Stelle keineswegs unverändert beibehalten, vielmehr bald nach der einen und bald nach der andern Seite austreiben, so bezeichnen sie keine genau markirten Punkte und am wenigsten darf man sie benutzen, um nach ihnen wieder andere Punkte zu bestimmen.

Die in den Grund eingestossenen Stangen eignen sich dagegen hierzu sehr wohl, und es liegt offenbar ein großer Vortheil darin, wenn man zur Aufnahme des Fahrwassers oder der Untiefen zur Seite derselben Festpunkte benutzen kann, die in unmittelbarer Nähe sich befinden. Die speciellen Messungen lassen sich alsdann noch mit hinreichender Sicherheit mit Instrumenten anstellen, die zwar keine besonders scharfe Ablesung gestatten, deren Gebrauch aber selbst auf einem Boote bequem ist. Hierzu gehört namentlich die Boussole, die jedoch, wenn sie auf dem Boote benutzt werden soll, so eingerichtet sein muß, daß sie keiner festen Aufstellung bedarf und daß man beim Visiren zugleich den Grad abliest, auf welchen sich die Magnetnadel einstellt. Die sogenannte Schmalkaldensche Boussole gewährt diesen Vortheil, dasselbe findet auch statt bei dem Peil-Compas, welchen der Schiffer in ähnlicher Weise benutzt. Bei diesen Instrumenten dürfen indessen die Nadeln nicht sehr beweglich sein, weil man sie sonst bei dem Schwanken des Bootes gar nicht zur Ruhe bringen kann. Es empfiehlt sich daher,

die Nadel mit einer vertikalen Achse zu versehn, und diese oben wie unten mit ihren Spitzen in Pfannen laufen zu lassen. Indem man letztere beliebig fest schrauben kann, so wird hierdurch die Gelegenheit geboten, der Nadel diejenige Reibung zu geben, welche sie haben muß, um bei den Erschütterungen des Bootes nicht in zu starke Schwingungen versetzt zu werden. Einer großen Beweglichkeit bedarf sie aber in diesem Falle nicht, weil die unvermeidlichen Schwankungen sie doch nicht zur vollständigen Ruhe kommen lassen. Es ergiebt sich aber hieraus, daß scharfe Winkelmessungen in dieser Art nicht zu machen sind, es dürfte sogar nur bei ganz ruhiger Witterung gelingen, einen Winkel bis auf 2 oder 3 Grade richtig abzulesen. Wenn so große Fehler die Sicherheit der Aufnahme aber nicht beeinträchtigen sollen, so müssen die Festpunkte, an welche man sich anschließen will, in unmittelbarer Nähe aufgestellt sein.

Dasjenige Instrument, womit man der Schwankungen des Bootes unerachtet sehr sichere Winkelmessungen ausführen kann, ist der Spiegel-Sextant. Selbst mit dem Taschen-Sextant, bei dem der eingetheilte Kreis nur etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Radius hat, wird man bei vorsichtigem Gebrauche nicht leicht einen größeren Fehler, als von einer Minute machen können. Jedenfalls ist es aber bequemer und sicherer, ein größeres Instrument von etwa 5 Zoll Radius zu benutzen. Die Anwendung eines starken Fernrohres erschwert den Gebrauch desselben, weil dabei eines der beiden Bilder wegen der unvermeidlichen Bewegungen leicht verschwindet. Ich habe es immer am bequemsten gefunden, bei den Messungen auf einem Boote gar kein Fernrohr einzuschrauben, vielmehr nur das Rohr zu benutzen, das mit der feinen Visir-Oeffnung versehn ist.

Bei dieser großen Sicherheit der Winkel-Messungen ist es leicht, mittelst des Sextanten jeden Punkt, auf dem man sich befindet, gegen bekannte Festpunkte am Ufer mit hinreichender Schärfe zu bestimmen. Das Verfahren, das man hierbei befolgt, wird zwar in den Lehrbüchern der Feldmefskunst unter der Benennung der Potenotschen Aufgabe vorgetragen, doch dürfte es sich rechtfertigen, dasselbe noch für den Fall mitzutheilen, wenn die drei Festpunkte durch rechtwinklige Coordinaten gegeben sind, und man aus diesen und den gemessenen beiden Winkeln gleichfalls die Coordinaten des Beobachtungs-Punktes sucht.

Gemeinhin wiederholt sich der Fall, daß man nicht nur einen, sondern eine große Anzahl von Punkten, deren Tiefen man etwa gemessen hat, festlegen will, und die Rechnungen vereinfachen sich alsdann außerordentlich, wenn man immer dieselben Festpunkte am Ufer benutzt. Man wähle also drei derselben aus, die jedoch hinreichend weit auseinander liegen, recht scharf markiert und genau bestimmt sind, auch sich nicht zu weit über den Horizont erheben, weil man, wenn das letzte nicht der Fall wäre, in größerer Nähe die Winkel in geneigten Ebenen messen würde, die merklich größer wären, als ihre Projectionen auf den Horizont. Eine ganz besondere Vorsicht in der Wahl dieser drei Festpunkte bezieht sich aber darauf, daß der durch sie geschlagene Kreis nicht etwa in die Nähe der Beobachtungslinie fallen darf. Diese Rücksicht begründet sich durch den bekannten Satz, daß alle Peripherie-Winkel, welche denselben Bogen umfassen, einander gleich sind. Wenn also der Beobachtungspunkt in dem Kreise liegen sollte, der durch die zum Grunde gelegten Festpunkte gezogen werden kann, so würde die Rechnung nur ergeben, daß der gesuchte Punkt in diesem Kreise liegt, aber die Stelle, an welcher er sich in demselben befindet, würde nicht zu ermitteln sein.

Die Punkte D , E und F in Fig. 114 seien die drei zum Grunde gelegten Festpunkte, und von dem gesuchten Punkte G aus habe man zwischen diesen die Winkel β und γ gemessen. A sei ferner der Anfangspunkt des rechtwinkligen Coordinaten-Systems, AB die Achse der x und AC die der y . Es seien nun die Coordinaten

• des Punktes F $AP = x$ und $PF = y$

des Punktes E $AO = x'$ und $OE = y'$

und des Punktes D $AN = x''$ und $ND = y''$

endlich die des gesuchten Punktes G

$$AQ = X \text{ und } QG = Y$$

Die Entfernungen der gegebenen Punkte von einander seien $FE = b$ und $ED = c$ und die Winkel, die diese Linien gegen die Richtung der Abscissen-Achse machen, nenne man ϱ und σ , so wie den Winkel, den die Linie GF gegen dieselbe Achse macht, α . Ferner bezeichne man den Winkel GDE mit ψ und den Winkel GFE mit φ , sowie die Linie EG mit n .

Man hat nun

$$x' - x = b \cdot \cos \varrho$$

$$y' - y = b \cdot \sin \varrho$$

folglich

$$\operatorname{tgt} \varrho = \frac{y' - y}{x' - x}$$

und

$$b = \frac{x' - x}{\cos \varrho} = \frac{y' - y}{\sin \varrho}$$

Eben so ist auch

$$x'' - x' = c \cdot \cos \sigma$$

$$y'' - y' = c \cdot \sin \sigma$$

folglich

$$\operatorname{tgt} \sigma = \frac{y'' - y'}{x'' - x'}$$

und

$$c = \frac{x'' - x'}{\cos \sigma} = \frac{y'' - y'}{\sin \sigma}$$

Endlich der Winkel

$$DEF = 180^\circ + \varrho - \sigma$$

Dieser Theil der Rechnung bezieht sich allein auf die drei gegebenen Festpunkte, man braucht denselben also nur ein für allemal auszuführen, ohne daß man bei der Bestimmung eines neuen Punktes *G* ihn zu wiederholen hat.

Aus dem Dreiecke *EFG* ergibt sich

$$\sin \varphi = \frac{n \cdot \sin \beta}{b}$$

und aus dem Dreiecke *EDG*

$$\sin \psi = \frac{n \cdot \sin \gamma}{c}$$

Man hat also

$$\frac{\sin \psi}{\sin \varphi} = \frac{b \cdot \sin \gamma}{c \cdot \sin \beta}$$

und wenn man diesen ächten oder unächtigen Bruch gleich $\operatorname{tgt} \lambda$ setzt, so kann man λ berechnen, insofern b , c , γ und β bekannt sind.

$$\operatorname{tgt} \lambda = \frac{\sin \psi}{\sin \varphi}$$

also

$$1 + \operatorname{tgt} \lambda = \frac{\sin \varphi + \sin \psi}{\sin \varphi}$$

und

$$1 - \operatorname{tgt} \lambda = \frac{\sin \varphi - \sin \psi}{\sin \varphi}$$

folglich

$$\frac{1 + \operatorname{tgt} \lambda}{1 - \operatorname{tgt} \lambda} = \frac{\sin \varphi + \sin \psi}{\sin \varphi - \sin \psi}$$

Die Ausdrücke sowol links, als rechts vom Gleichheits-Zeichen lassen sich indessen, wie bekannt, für die logarithmische Berechnung bequem umformen, nämlich

$$\operatorname{tgt} (45^\circ + \lambda) = \frac{\operatorname{tgt} \frac{1}{2} (\varphi + \psi)}{\operatorname{tgt} \frac{1}{2} (\varphi - \psi)}$$

also

$$\operatorname{tgt} \frac{1}{2} (\varphi - \psi) = \operatorname{tgt} \frac{1}{2} (\varphi + \psi) \cdot \operatorname{Cotg} (45^\circ + \lambda).$$

Hiernach kann man den Winkel $\varphi - \psi$ berechnen. Man kennt nämlich schon λ , und außerdem ist

$$\begin{aligned} \varphi + \psi &= 360^\circ - DEF - \beta - \gamma \\ &= 180^\circ + \sigma - \varrho - \beta - \gamma \end{aligned}$$

Die Winkel φ und ψ sind folglich bekannt, daher findet man auch

$$n = \frac{b \cdot \sin \varphi}{\sin \beta} = \frac{c \cdot \sin \psi}{\sin \gamma}$$

Endlich ist auch der Winkel α , den die Visir-Linie FG mit der Achse der Abscissen macht, leicht zu bestimmen, nämlich

$$\begin{aligned} \alpha &= \varrho + \varphi - 180^\circ \\ &= \sigma - \psi - \beta - \gamma \end{aligned}$$

Hieraus ergeben sich schliesslich die gesuchten Coordinaten des Punktes G , nämlich

$$\begin{aligned} X &= x' - n \cos (\alpha + \beta) \\ Y &= y' - n \sin (\alpha + \beta) \end{aligned}$$

Es muß hierbei sogleich darauf aufmerksam gemacht werden, daß wenn der gesuchte Punkt G in denselben Kreis fallen sollte, der die drei zum Grunde gelegten Festpunkte D , E und F trifft, daß alsdann die Summe der beiden Winkel φ und ψ gleich 180 Graden sein würde, weil die beiden Bogen, welche dieselben als Peripherie-Winkel umfassen, sich zum vollen Kreise oder zu 360 Graden ergänzen. Man hätte also

$$\varphi + \psi = 180^\circ$$

folglich

$$\sin \varphi = \sin \psi$$

also

$$\operatorname{tgt} \lambda = 1$$

oder

$$\lambda = 45^\circ$$

Man würde hieraus finden

$$\begin{aligned} \operatorname{tgt} \frac{1}{2} (\varphi - \psi) &= \operatorname{tgt} 90^\circ \cdot \operatorname{Cotg} 90^\circ \\ &= \frac{\infty}{\infty} = \frac{0}{0} \end{aligned}$$

Der Werth von $\varphi - \psi$ bliebe also ganz unbestimmt, sobald man aber für φ oder für ψ einen bestimmten Winkel annähme, so wäre dadurch auch der andre Winkel gegeben, weil beide zusammen gleich 180 Graden sind. Man sieht hieraus, daß bei solcher Lage des Punktes G die Coordinaten desselben gar nicht gefunden werden können, vielmehr die Rechnung nur ergiebt, daß derselbe in jenen Kreis trifft. Es leuchtet aber ein, daß auch in dem Falle, wenn G sehr nahe an diesem Kreise liegt, das Resultat der Rechnung höchst unsicher ausfallen muß, weil alsdann geringe Fehler in der Winkel-Bestimmung sehr großen Einfluß auf die Coordinaten haben. Man muß daher jene drei Punkte so auswählen, daß der durch dieselben gezogene Kreis nicht diejenige Wasserfläche schneidet, in welcher man mittelst dieser Messungen die Lage einzelner Punkte bestimmen will.

Die Zahlen-Rechnung bietet keine Schwierigkeit, man muß nur bei Angabe der Coordinaten der Festpunkte das Zeichen derselben gehörig berücksichtigen, je nachdem sie rechts oder links, und über oder unter den angenommenen Anfangspunkt des Coordinaten-Systems fallen. Alsdann ergiebt sich schon aus den Zeichen der Ausdrücke für $\operatorname{tgt} \rho$ und $\operatorname{tgt} \sigma$, ob diese Winkel in den ersten oder in den zweiten Quadranten fallen. Dasselbe gilt auch für den Winkel α .

Der Punkt G , dessen Lage man sucht, kann leicht eine solche Stelle einnehmen, daß die drei Festpunkte nicht mehr in derselben Reihenfolge gesehn werden, wie sie von andern Punkten aus erscheinen. Wenn zum Beispiel der Punkt G bis zu einer gewissen Tiefe unter die Abscissen-Linie herabgesunken ist, so wird man in der Richtung von der Linken zur Rechten zuerst den Punkt F , alsdann D und ganz rechts den Punkt E sehn. Um in solchem Falle keinen Irrthum zu begehn, darf man nicht vergessen, daß FGE der Winkel β , und EGD der Winkel γ ist, und daß letzterer, insofern er vom Punkte E nach der rechten Seite gemessen werden sollte, nunmehr negativ geworden ist. Dasselbe kann auch mit dem Winkel β geschehn. Jedenfalls müssen diejenigen Richtungen, die bei der Entwicklung der Formeln als positiv angesehen waren, und

zwar eben sowol für Winkel, wie für lineäre Entfernungen, consequent beachtet, also mit dem Minus-Zeichen versehn werden, sobald sie in entgegengesetztem Sinne gemessen sind.

Wenn die vorstehende, sehr ausführliche Behandlung dieser rein geometrischen Aufgabe vielleicht überflüssig erscheinen sollte, so darf nicht unbeachtet bleiben, daß sie bei Aufnahme der Fahrwasser und Untiefen vor einem Hafen sich fortwährend wiederholt, und mit ihrer Hülfe allein, ohne kostbare und zeitraubende Aufstellung von hohen und weit sichtbaren Signalen, eine richtige Charte zusammengetragen werden kann. Wenn man aber zum Bau solcher Signale sich auch entschließen wollte, welche unmittelbar die Alignements angeben, so würde dennoch die Anzahl derselben immer sehr beschränkt bleiben müssen und die Charte würde nicht so vollständig werden, wie man auf die beschriebene Art sie leicht machen kann. Andererseits pflegt man von der vorstehend entwickelten Methode, wenn sie im Wesentlichen auch bekannt ist, doch viel seltener Gebrauch zu machen, als sie es verdient, weil man theils die Messungen vom Boote aus, an die man nicht gewöhnt ist, theils auch die Rechnungen, die man als übermächtig zeitraubend ansieht, vermeiden will. Man hilft sich daher gewöhnlich damit, daß man vier kleine Flaggen an verschiedene vorher bestimmte Punkte auf dem Ufer zur Bezeichnung je zweier Richtungslinien aufstellen läßt, und in den jedesmaligen Schnittpunkten die Tiefen mißt. Auch geschieht es, daß man aus zwei Stationen auf dem Ufer mittelst Meßinstrumente das Boot jedesmal einschneidet, so oft die Tiefe gemessen und alsdann auf dem Boote eine Flagge gezeigt wird. In beiden Fällen braucht man aber sehr zuverlässige Gehülfen, die man nicht controliren kann, außerdem sind Verwechselungen dabei leicht möglich, und endlich sind in weiteren Entfernungen die Flaggen nicht sicher zu erkennen. Die vorstehend empfohlne Methode verdient daher unbedingt den Vorzug, und es wird sich rechtfertigen, dieselbe noch durch ein Zahlenbeispiel näher zu erläutern.

Die drei weit sichtbaren Festpunkte, die man bei allen Aufnahmen vor einem Hafen benutzen will, müssen durch trigonometrische Operationen vorher mit hinreichender Genauigkeit festgelegt sein. Ihre Coordinaten mögen beispielsweise die nachstehenden Längen und zwar in Ruthen haben:

für den Punkt F sei $x = +15,36$ und $y = -107,29$

$E \dots x' = -43,73$ und $y' = +29,32$

$D \dots x'' = +81,25$ und $y'' = +156,88$

Man findet hieraus, daß die Tangente von ϱ einen negativen, die von σ dagegen einen positiven Werth hat, also ϱ ist größer als 90 Grade.

$$\varrho = 113^\circ 23',4$$

und

$$\sigma = 45^\circ 35',1$$

ferner ist

$$b = 148,84 \text{ oder } \log b = 2,17272$$

und

$$c = 178,58 \text{ oder } \log c = 2,25184$$

Endlich ergibt sich noch der Winkel

$$DEF = 247^\circ 48',3$$

Dieser Theil der Rechnung bezieht sich ausschliesslich auf die drei zum Grunde gelegten Festpunkte, und so lange man diese wieder benutzt, darf derselbe nicht wiederholt werden.

Man habe nun von einem gewissen Punkte G aus, dessen Lage man sucht, die Winkel

$$\beta = FGE = 11^\circ 18',2$$

und

$$\gamma = EGD = 10^\circ 32',3$$

gemessen. Man findet alsdann nach der Formel

$$\begin{aligned} \operatorname{tgt} \lambda &= \frac{b \cdot \sin \gamma}{c \cdot \sin \beta} \\ \lambda &= 37^\circ 52',3 \end{aligned}$$

und nach dem Ausdrucke

$$\varphi + \psi = 180^\circ + \sigma - \varrho - \beta - \gamma$$

$$\varphi + \psi = 90^\circ 21',2$$

folglich

$$45^\circ + \lambda = 82^\circ 52',3$$

und

$$\frac{1}{2} (\varphi + \psi) = 45^\circ 10',6$$

Durch Einführung dieser Werthe in den Ausdruck

$$\operatorname{tgt} \frac{1}{2} (\varphi - \psi) = \operatorname{tgt} \frac{1}{2} (\varphi + \psi) \cdot \operatorname{Cotg} (45^\circ + \lambda)$$

findet man

$$\frac{1}{2} (\varphi - \psi) = 7^\circ 10',3$$

also

$$\varphi = 52^\circ 20',9$$

$$\psi = 38^\circ 0',3$$

Nunmehr läßt sich die Länge der Linie EG berechnen, nämlich

$$\begin{aligned} n &= \frac{b \cdot \sin \varphi}{\sin \beta} = \frac{c \cdot \sin \psi}{\sin \gamma} \\ &= 601,21 \text{ oder } \log n = 2,77903 \end{aligned}$$

erner ist $\alpha = \varrho + \varphi - 180^\circ = \sigma - \psi - \beta - \gamma$

$$\alpha = -14^\circ 15',6$$

so $\alpha + \beta = -3^\circ 43',3$

Die gesuchten Coordinaten des Punktes G findet man aus den Gleichungen

$$X = x' - n \cdot \cos(\alpha + \beta)$$

und $Y = y' - n \cdot \sin(\alpha + \beta)$

$$X = -643,69$$

und $Y = +68,35$

Man braucht also, wenn man von den kleinen Additionen und Subtractionen absieht, bei jeder Rechnung dieser Art nur zwölfmal die Logarithmen-Tafeln nachzuschlagen, was bei Benutzung von fünfstelligen Tafeln und selbst bei wenig Uebung nur etwa eine Viertel Stunde kosten würde, also eine höchst geringfügige Arbeit ist. Hiernach rechtfertigt es sich durchaus nicht, statt dieser Rechnung, Constructions-Methoden zu wählen, und etwa durch Rückwärts-Einschneiden die Lage des Punktes G zu suchen, oder zu diesem Zwecke einen Rahmen mit drei Fäden zu benutzen, die unter den Winkeln β und γ gegen einander gerichtet sind. Man darf nicht unbeachtet lassen, daß Winkel nicht leicht mit derselben Schärfe aufgetragen werden können, wie Linien, und am wenigsten ist dieses zu erwarten, wenn die Winkel, wie in diesem Falle oft geschieht, nur sehr klein sind.

Das beschriebene Verfahren dient zur Bestimmung einzelner besonders wichtiger Punkte in der Wasserfläche, wie etwa von Felsen, Schiffswracken und dergleichen, die man bei ruhiger Witterung vom Ufer aus nicht wahrnehmen kann, vorzugsweise ist es aber auch brauchbar, um die gemessenen Tiefen in die Charte richtig einzutragen. Ueber die Tiefen-Messung selbst ist wenig hinzuzufügen, da von den hierzu dienenden Instrumenten und ihrer Handhabung bereits ausführlich die Rede gewesen ist (im II. Theile dieses Handbuches § 60). Man wird aber bei den in Rede stehenden Aufnahmen nur die Peilstange und ein gewöhnliches Handloth gebrauchen, da sehr große Tiefen in der Nähe der Häfen nicht vorzukommen pflegen, oder wo solche sich vorfinden, die Messung derselben meist entbehrlich ist.

Es wäre nur daran zu erinnern, daß der Wasserstand jederzeit sehr sorgfältig berücksichtigt werden muß, und daß man an

solchen Meeren, wo keine merkliche Fluth und Ebbe statt findet, die Tiefen auf den mittleren Spiegel der See oder auf das Tagewasser zu reduciren pflegt. Wo dagegen ein auffallender Fluthwechsel vorkommt, muß während der Tiefenmessung der Wasserstand in kurzen Zwischenzeiten an dem Pegel genau beobachtet und zugleich auch die Zeiten notirt werden, in welchen die einzelnen Tiefen gemessen sind. In England und Frankreich ist es üblich, die Horizontal-Ebene, auf welche die eingetragenen Tiefen sich beziehen, in das Niedrig-Wasser der Aequinoctial-Springfluthen zu legen. Jedes einzelne Maafs ist daher um soviel zu vermindern, als zur Zeit der Messung das Wasser am Pegel über diesem Horizonte stand. Vortheilhaft ist es immer, die Tiefenmessungen um die Zeit des Niedrig-Wassers auszuführen, weil alsdann die Aenderungen nicht so bedeutend sind, doch ist es häufig nicht zulässig, die Arbeitszeit in dieser Weise zu beschränken. Man wird jedoch sichere Tiefenmessungen nur vornehmen können, wenn die See ziemlich ruhig ist, weil sonst die Erhebungen und Senkungen des Wasserspiegels beim Wellenschlage die genaue Ablesung der Tiefen unmöglich machen.

Die Tiefen werden am übersichtlichsten in die Charte eingetragen, wenn man diejenigen Linien markirt, auf denen gleiche Tiefe statt findet, außerdem aber noch die höchsten und die niedrigsten Stellen des Grundes bezeichnet. Man sucht also die Linien von 1, 2, 3 Faden u. s. w. auf, oder fügt auch noch die Linien hinzu, in welchen die Tiefen um einen halben Faden, oder um 3 Fuß größer sind. Diese Operation würde überaus zeitraubend sein, wenn man diese Linien in der Art aus einzelnen Punkten zusammensetzen wollte, daß man auf den Stellen, welche die vorher bestimmte Tiefe haben, das Boot durch Anker festlegt und nunmehr die Winkel zwischen den gegebenen Festpunkten mißt. Viel schneller führt es zum Ziele, wenn man das Boot in möglichst gleichmäßiger aber langsamer Bewegung erhält und anhaltend die Tiefen, wie auch die Winkel mißt.

Am Einfachsten ist dieses Verfahren, wenn das Boot in einer am Ufer markirten Richtungslinie sich bewegt. Man braucht alsdann nur den Winkel zwischen dieser Linie und einem dritten Festpunkte zu messen, um den Abstand des Bootes von diesem dritten Punkte berechnen zu können, während die Linie, in der ge-

fahren wird, unmittelbar in die Charte eingetragen werden kann. Zu solcher Messung sind indessen mehrere Personen erforderlich. Ausser den Ruderern, die das Boot möglichst gleichmäfsig und langsam in Bewegung setzen, muß ein zuverlässiger Mann das Steuer führen, der das angegebene Alignement genau beachtet, und eben sowol wenn das Boot vom Ufer aus nach der offenen See, als wenn es umgekehrt nach dem Ufer fährt, diese Linien inne hält, so daß die jedesmaligen Alignements-Punkte sich fortwährend decken. Ein anderer Arbeiter muß den Peilstock ausstecken, die Tiefen richtig ablesen und dieselben laut ausrufen. Bei größeren Tiefen bedient er sich des Lothes, es kommt indessen sehr darauf an, daß die einzelnen Messungen in gleichen und nicht gar zu langen Zwischenzeiten auf einander folgen. Ein Gehülfe schreibt ferner jede einzelne abgelesene Tiefe in eine Spalte der Tabelle, deren Ueberschrift die Richtungslinie bezeichnet. Endlich müssen auch die Winkel gegen den außerhalb der Alignements-Linie befindlichen Festpunkt mit dem Sextanten gemessen werden, und diese Operation, als die schwierigste, übernimmt der Hafenbaumeister selbst. Es kommt darauf an, in jener Tabelle den Winkel an der Stelle einschreiben zu lassen, wo die beiden Bilder im Sextanten wirklich zusammenfielen. Man muß also, sobald dieses geschieht, ein Zeichen geben, daß diese Stelle zwischen den Tiefenmaassen sogleich markirt wird. Thäte man dieses nicht und wollte man zuerst den Winkel ablesen, so würde wenigstens eine und meist mehrere Tiefen in dieser Zwischenzeit schon notirt sein, also der Winkel und folglich auch der daraus hergeleitete Beobachtungs-Ort würde unrichtig angegeben werden. Ich habe es besonders bequem gefunden, den Sextant vorher auf einen bestimmten Winkel einzustellen, und den Zeitpunkt abzuwarten, wo die beiden Bilder bei dieser Einstellung sich deckten. In dem Augenblicke, wo dieses geschieht, wird alsdann der vorher schon abgelesene Winkel ausgerufen, und so kommt letzterer gleich an die richtige Stelle der Tabelle. Es tritt dabei auch noch der sehr wesentliche Vorthail ein, daß die Einstellung des Sextanten auf Winkel etwa von 10 zu 10 Minuten das Auge viel weniger angreift, als wenn diese Einstellung ganz zufällig erfolgt ist, und der Winkel demnächst scharf abgelesen werden soll. Dieser Umstand ist von großer Bedeutung, wenn solche Messungen mehrere Stunden hindurch fortgesetzt werden. Man wird auch leicht

bemerken, wie weit jedesmal die Verstellung des Winkels erfolgen muß. Fährt man nach den Festpunkten hin, so vergrößert sich der Winkel, er verkleinert sich aber, wenn man sich von demselben entfernt. Eines wie das andre geschieht aber nicht gleichmäßig, wenn das Boot sich gleichmäßig bewegt. Man wird daher, je nachdem die Perioden der Messung zu groß oder zu klein werden, auch verschiedene Aenderungen des Winkels wählen müssen.

Obwohl dieses Verfahren sowol in der Ausführung der Messung, wie auch in der darauf folgenden Berechnung überaus bequem ist, so fordert es doch die Bezeichnung einer großen Anzahl von Richtungslinien, und man sieht sich daher gezwungen, wenigstens das vordere Signal für jede derselben verstellen zu lassen. Dieser Umstand bedingt eine mäßige GröÙe desselben, und hieraus ergibt sich wieder, daß es in der Entfernung von einer Viertel oder einer halben Meile nicht mehr deutlich zu erkennen ist, dazu kommt aber noch, daß der Matrose, der das Steuer führt, selbst wenn er das Signal auch noch deutlich sehn kann, die vorgeschriebene Richtung gemeinhin nicht so genau inne hält, wie die nothwendige Sicherheit der Messung es fordert. Ich habe vielfach bemerkt, daß selbst sehr bedeutende Abweichungen eintraten, und wenn ich auf diese aufmerksam machte, daß alsdann so scharf in die Richtungslinie wieder eingefahren wurde, daß das Boot über dieselbe hinausging und sich auf der andern Seite in gleicher Weise davon entfernte. Hiernach ist es gewiß vortheilhafter, eine Messungsart zu wählen, wobei diesen unvermeidlichen Abweichungen vollständig Rechnung getragen wird. Hierzu dient nun die vorstehend ausführlich beschriebene Methode, wonach zwischen je drei Festpunkten die Winkel gemessen werden. Dabei tritt aber noch der sehr große Vortheil ein, daß man die Richtungslinien und somit jenes bewegliche Signal vollständig entbehrt.

Man läßt in diesem Falle nach einem gewissen Compas-Striche steuern, und bei dem Zurückfahren nach dem diametral entgegengesetzten. So erhält man eine Anzahl von parallelen Profilen, aus welchen sich die gesuchten Tiefenlinien leicht darstellen lassen. Es ist hierbei aber nothwendig, daß die Winkel von zwei Personen, also auch mit zwei Sextanten gemessen werden. Jeder Beobachter mißt die Winkel zwischen je zwei vorher bestimmten Festpunkten.

Die Tabelle enthält alsdann drei Columnen. In die erste werden die Tiefen geschrieben, in die zweite die Winkel zwischen den Festpunkten *D* und *E* und in die dritte diejenigen zwischen *E* und *F*. Diese Winkel sind vorher eingestellt, und im Momente, wo die Bilder sich decken, wird der vorher abgelesene Winkel ausgerufen und ehe noch die folgende Tiefe eingeschrieben wird, vor derselben in der Tabelle notirt. Ueberaus bequem werden diese Messungen, wenn man statt des Ruderbootes ein Dampfboot benutzt, woselbst man mehr Raum hat, um bei den Messungen nicht behindert zu sein, und wo auch der Peilstock, wie das Loth, sich mit grösserer Leichtigkeit benutzen läßt.

In welcher Weise diese Tabellen zur Auffindung der Tiefenlinien benutzt werden, bedarf kaum der Erwähnung. Man suche zum Beispiel in einer der durchfahrenen Linien die Stelle, wo die Tiefe beim mittleren Wasserstande 18 Fufs beträgt. Der Pegel möge zur Zeit der Messung 6 Zoll über dem mittleren Stande markirt haben. Alsdann ist in der Tabelle die Stelle zu wählen, wo die Tiefe von 18 Fufs 6 Zoll gemessen wurde. Die Tiefenmessungen erfolgen in möglichst gleichen Zwischenzeiten, man darf daher annehmen, daß die Winkel in diesen kleinen Zwischenzeiten sich auch gleichmässig verändern, und sonach kann man durch Interpolation leicht die Grössen derselben finden, welche dieser Tiefe entsprechen. Aus den Winkeln ergeben sich aber die Coordinaten dieses Punktes und sonach eine Stelle der Dreifaden-Linie. Es ist dabei aber ohne Einfluß, ob das Boot in einer ganz geraden Linie sich bewegte, oder von derselben bedeutend abwich. Die vorgekommenen Abweichungen ergeben sich sehr deutlich, wenn man die einzelnen Punkte eines Profiles berechnet und in die Charte einträgt.

In der beschriebenen Art läßt sich schnell und mit grosser Sicherheit die vor dem Hafen befindliche Wasserfläche aufnehmen. Man erhält, sobald die Tiefenlinien aufgetragen sind, ein sehr übersichtliches Bild derselben, das um so vollständiger ist, je näher die Profile neben einander liegen. Nichts desto weniger wird man in den meisten Fällen sich hiermit noch nicht begnügen können, und vielmehr genöthigt sein, einzelne Stellen, und namentlich solche, wo besonders starke Veränderungen der Tiefe vorkommen, noch besonders aufzunehmen, indem man daselbst entweder das Boot fest-

legt, und wieder die Winkel zwischen drei Festpunkten mißt, oder bei mäßiger Tiefe, indem man eine Signalstange oder Baake auf die Untiefe steckt, und deren Lage vom Ufer aus bestimmt.

In dieser Weise sind die in Fig. 101 dargestellten Tiefenlinien vor dem Swinemünder Hafen bestimmt worden, und dieselben Messungen werden in jedem Jahre wiederholt, um die Aenderungen wahrzunehmen, welche in den Sandablagerungen vorgehn. Man hatte hier früher die Methode angewendet, daß man am Strande gewisse Alignements in zwei Richtungen darstellte, und in den Durchschnittspunkten der so bestimmten Linien die Tiefen maas. Die Signale bestanden indessen nur aus Fähnchen, die man nicht weit sehn konnte, und so geschah es, daß man die Sandbank, die sich vor dem Kopfe der westlichen Mole ablagerte, gar nicht vollständig aufnehmen konnte, und ihre Ausdehnung ganz unbekant geblieben war.

Aus den beschriebenen Tiefenmessungen läßt sich schon in mancher Beziehung auf andere locale Verhältnisse und namentlich auf die daselbst stattfindenden Strömungen sehr sicher schließen. So stellt sich aus der erwähnten Zeichnung ganz unverkennbar heraus, daß die von Westen nach Osten gerichtete Strömung hier vorherrschend sein muß, und daß diese die Sandmassen herbeigeführt hat, welche vor und neben der Hafenmündung sich so auffallend ablagern. Dieselben treten nämlich auf der westlichen Seite besonders stark vor, und wenn sie auch in der Richtung der Hafenmündung fehlen, weil der neben dem Kopfe der östlichen Mole concentrirte sehr starke Strom sie immer durchbricht und beseitigt, so sieht man doch, daß die Vierfaden-Linie eine scharf vortretende Zunge bildet, welche die besonders tief gehenden Schiffe zwingt, von der gewöhnlichen Einseglungs-Linie (welche durch die Landbaake und die Winkbaake bezeichnet ist) abzuweichen, und nahe um den Kopf der Ostmole herumzufahren. Auffallend ist es auch, daß dieselbe Sandbank, welche sich an die Westmole anschließt, ungefähr parallel zur Hafenmündung gerichtet und an ihrer westlichen Seite sehr scharf begrenzt ist. Man bemerkt hier sogar, daß die Zwei- und Drei- und Vierfaden-Linien stellenweise sehr nahe zusammenreffen, daß also die Sandablagerung hier sehr steil abfällt. Dieses kann nur geschehn, wenn eine besonders heftige Strömung vorbeistreicht. Ohne Zweifel ist dieses der westliche Küstenstrom, der

das Ufer verfolgt, und plötzlich von den Hafendämmen und dem starken ausgehenden Strome unterbrochen und gezwungen wird, sich nordwärts zu wenden. Er verstärkt sich vor dem Kopfe der Westmole noch durch die Bewegung, die ihm durch das aus dem Hafen austretende Wasser mitgetheilt wird, wie dieses jederzeit geschieht, wo ein heftiger Strom in ruhendes oder in wenig bewegtes Wasser tritt. Endlich wäre noch darauf aufmerksam zu machen, daß nur unmittelbar neben der Hafenmündung die Tiefenlinien unregelmäßig vortreten, daß sie aber sonst nahe parallel zum Ufer gerichtet sind.

Zu denjenigen Untersuchungen, welche der Aufstellung eines Projectes zum Neubau oder zur Verbesserung eines Hafens vorangehn müssen, gehören ferner sorgfältige und längere Zeit hindurch fortgesetzte Wasserstands-Beobachtungen, und zwar sind dieselben eben so nothwendig, wenn ein merklicher Fluthwechsel statt findet, als wenn ein solcher fehlt. Man muß wissen, wie tief das Wasser zuweilen herabsinkt, und wie oft und wie lange solche niedrigen Wasserstände zu erwarten sind, um beurtheilen zu können, ob sie einen wesentlichen Einfluß auf die Schifffahrt ausüben. Auch die höchsten Wasserstände und die Perioden, in welchen diese durchschnittlich eintreten, dürfen nicht unbeachtet bleiben. Die Kenntniß derselben ist namentlich erforderlich, um die angemessene Höhe der Hafendämme und Kais zu bestimmen. In welcher Weise diese Beobachtungen angestellt werden, ist bereits früher ausführlich erörtert worden (§ 61 im zweiten Theile dieses Handbuchs, so wie in Betreff der Fluthbeobachtungen § 6 dieses dritten Theiles).

Demnächst müssen die Strömungen, welche sowol in dem Hafen, und namentlich in dessen Mündung statt finden, als auch diejenigen, die sich längs dem Ufer hinziehn, untersucht werden. Die Feststellung derselben und die Messung der Geschwindigkeiten ist jedoch viel schwieriger, als in den binnenländischen Flüssen, weil sie nicht dauernd sind und vielmehr in kurzen Zwischenzeiten sich so sehr zu ändern pflegen, daß sie sogar ganz entgegengesetzte Richtungen annehmen. Sie entstehn nicht dadurch, daß an bestimmten Stellen anhaltend ein höherer Wasserstand unterhalten wird, von wo der Abfluß statt findet, die Niveau-Differenzen bilden sich vielmehr vorzugsweise durch die Fluth und Ebbe, oder durch die Winde, welche bald das Wasser vor der Küste aufstauen, bald

es von derselben forttreiben. Die Strom-Mündungen selbst pflegen aber so weite Profile zu haben, daß das Gefälle in ihnen sehr geringe ist, und daher beim Wachsen des Wassers in der See nicht nur vollständig aufgehoben, sondern sogar in ein entgegengesetztes verwandelt wird. Indem nun aber die Erhaltung der Tiefe in der Hafenmündung vorzugsweise von der hindurchgehenden Strömung abhängig ist, außerdem auch die letztere, so wie die Küstenströmung, das Aus- und Einkommen der Schiffe wesentlich erleichtert, oder erschwert, so ist eine genaue Kenntniß derselben dringend geboten.

Vorzugsweise vor solchen Küsten, wo ein starker Fluthwechsel statt findet, bilden sich zuweilen ganz eigenthümliche Strömungen, und da die Schiffe meist mit der Fluth ankommen, und bei der Ebbe auslaufen, so kommt es darauf an, die Hafenmündungen so anzuordnen, daß die Schiffe beim Passiren der letzteren nicht etwa durch diese Strömungen gedreht oder versetzt werden. Man darf aber nicht annehmen, daß die Veränderungen des Stromes plötzlich eintreten, es erfolgt vielmehr am Ende der Fluth, wie auch der Ebbe an den Meeresufern ein langsamer Uebergang aus einer Richtung in die andre, und an manchen Stellen dreht der Strom sich sogar um den ganzen Horizont. Bei solchen Uebergängen nimmt er indessen keineswegs auf weit ausgedehnten Flächen immer dieselbe Richtung an, vielmehr kann man schon aus der Lage der ankernden Schiffe deutlich sehn, daß er selbst in sehr mäßigen Abständen sich ganz verschieden gestaltet.

Um diese Strömungen zu erkennen, welche beim jedesmaligen Umsetzen der Fluth in die Ebbe, oder umgekehrt eintreten, muß man eine größere Anzahl gleichzeitiger Beobachtungen machen, und es eignet sich hierzu vorzugsweise die Methode, daß man mehrere Schwimmer aussetzt, die in auffallender Weise bezeichnet sind, so daß man sie sicher von einander unterscheiden kann. Indem man die Wege derselben verfolgt, so ergibt sich daraus nicht nur die Richtung, sondern auch die Stärke der Strömung an den einzelnen Stellen, oder die Geschwindigkeit derselben. Dieses Verfahren wurde vom Baudirector Hübbe an der untern Elbe angewendet, als es vor mehreren Jahren Absicht war, den Hafen von Cuxhaven zu verbessern. Die Schwimmer wurden in einer Reihe und zwar in verschiedenen Abständen vom Ufer, ausgesetzt,

und von zwei Stationen aus, wo Meistische aufgestellt waren, abwechselnd und zwar gleichzeitig eingeschnitten. Man verfolgte sie in der vorher bestimmten Reihenfolge mit dem an der Alhidade angebrachten Fernrohre, und auf ein gegebenes laut hörbares Zeichen stellte man die Alhidaden fest und zog die Richtungslinien aus. Neben diese wurde sogleich zur Vermeidung von Verwechslungen die Zeit und die Bezeichnung des Schwimmers beigeschrieben. Dasselbe Verfahren ist auch an der Jade, sowie auch bei Swinemünde angewendet worden. Fig. 115, *a* und *b* zeigt einen solchen Schwimmer. Zwei Bretter, 3 Fuß lang, 6 Zoll hoch und 1 Zoll stark, sind durch Ueberschneidung bis zu ihrer halben Höhe mit einander verbunden, und ein starker hindurchgetriebener Draht giebt dieser Verbindung noch grössere Festigkeit. An dem letzteren befinden sich diejenigen Marken, die zur sichern Unterscheidung der verschiedenen Schwimmer dienen. Die große Fläche, die bei jeder Stellung des Schwimmers vom Strome getroffen wird, giebt Veranlassung, daß sie dem letzteren sehr sicher folgen, wenn auch ein mäßiger Wind in andrer Richtung weht.

Wenn jeder einzelne Schwimmer etwa in jeder Viertelstunde zweimal beobachtet wird, so kann man durch Verbindung der Linien, die auf beiden Reifsbrettern gezogen sind, den Weg, den er zurückgelegt hat, sehr deutlich erkennen, und es ergeben sich hieraus nicht nur die verschiedenen Richtungen, sondern auch die Geschwindigkeiten der Strömungen in der ganzen umfaßten Wasserfläche, die gleichzeitig statt finden. Bei Swinemünde war der ausgehende Strom neben der östlichen Mole jedesmal viel stärker, als an der westlichen. Er hatte dort etwa die dreifache Geschwindigkeit von der hier beobachteten, und in einzelnen Fällen, wenn der Strom nur schwach war, hörte er hier sogar ganz auf. Bei östlichen Winden verfolgten die Wasserfäden, die sich längs der östlichen Mole hinzogen, die Richtung der letzteren, während die weiter westlich belegenen scharf um den Kopf der Westmole umbogen und eine Richtung annahmen, die dem Ufer parallel war. Bei eingehendem Strome, und selbst bei schwachen östlichen Winden, strömte dagegen das Wasser noch von der westlichen Seite zu und drehte wieder scharf um den Kopf der Westmole in den Hafen. Obwohl diese Bewegung nur sehr langsam erfolgte, so gab sie doch wieder das Vorherrschen der westlichen Küstenströmung zu erkennen.

Die erwähnten Messungen beziehen sich allein auf die obern Wasserschichten, und vielfach ist man der Ansicht, daß die untern Schichten neben den Hafenmündungen ganz andre Bewegungen annehmen, weil man glaubt, daß das süße und das Seewasser sich nicht leicht vermischen, und bei ihrem Zusammentreten daher eine Einströmung des letzteren über dem Grunde und ein Ausströmen des ersteren in der Oberfläche eintreten kann. Um in dieser Beziehung die Messungen zu vervollständigen, wurden noch die sogenannten Cabelo'schen Stäbe angewendet (vergl. § 62 im zweiten Theile dieses Handbuches). Dieselben bestehn aus cylindrischen Stangen, die durch Gewichte, welche in ihr unteres Ende eingelassen sind, sich im stehenden Wasser senkrecht stellen und so tief eintauchen, daß sie auf den Stellen, wo sie gebraucht werden, den Grund noch nicht berühren. Sie werden also von allen Wasserschichten, die sie durchschneiden, gleichmäßig afficirt, und nehmen daher die mittlere Geschwindigkeit derselben an. Dieselben bewegten sich allerdings etwas langsamer, als die oben beschriebenen Schwimmer, doch war der Unterschied nie bedeutend und entsprach immer nur demjenigen, den man auch in oberländischen Strömen bemerkt. Entgegengesetzte Strömungen in verschiedenen Wassertiefen kommen daher in Swinemünde nicht vor.

Es muß noch eines andern Schwimmers erwähnt werden, der die Richtung der Strömung an einer bestimmten Stelle angeben sollte. Derselbe bestand aus einem starken hölzernen Klotze, der in vertikaler Richtung durchbohrt und mit einer hindurchgesteckten Stange versehen war. Eine Leine verband das untere Ende der letzteren mit einem schweren Steine. Dieser wurde auf der westlichen Seite des Kopfes der Westmole versenkt. Er lag so tief, daß der Klotz stets unter Wasser blieb und nur das obere Ende der Stange daraus hervorragte. Auf beiden Molen waren Marken angebracht, welche die Richtung bezeichneten, in welche diese Stange sich stellte, wenn sie von keiner Strömung getroffen wurde. Je nachdem sie nach der einen oder der andern Seite auswich, konnte man also vom Ufer aus auch die Richtung des Stromes erkennen. Der Versuch sollte dazu dienen, um die Küstenströmung bei den verschiedenen Windesrichtungen zu beobachten, er führte jedoch zu keinem Resultate, weil dieser Schwimmer nebst dem Steine wiederholentlich entwendet wurde.

Es ereignet sich zuweilen, daß ein Binnensee verschiedene Ausmündungen hat, die zugleich Seehäfen sind. In solchem Falle werden vielfach Anträge gestellt, daß zur Verbesserung jedes einzelnen dieser Häfen die betreffende Mündung möglichst erweitert und vertieft werde. Indem nun aber bei Anschwellungen der See nur eine bestimmte Wassermenge einströmen und später wieder abfließen kann, so folgt hieraus, daß die Profilvergrößerung der einen Mündung zwar die Durchströmung derselben verstärkt und sonach auch die Offenerhaltung des betreffenden Hafens befördert, daß aber eben hierdurch die in den andern Mündungen belegenen Häfen beeinträchtigt werden, weil die Durchströmungen derselben sich mäßigen. Um die hierbei eintretenden Aenderungen sicher beurtheilen zu können, so fragt es sich, in welchem Verhältnisse die aus- und einströmende Wassermenge sich auf die verschiedenen Mündungen vertheilt. Durch directe Messung läßt sich diese Frage nicht leicht beantworten, weil die Windesrichtungen an den verschiedenen Mündungen nicht dieselben zu sein pflegen, und eben so stimmen auch die daneben gemessenen Wasserstände sowol am Binnensee, als am Meere mit einander nicht überein. Dieses zeigt sich sehr deutlich an den verschiedenen Pegeln, die neben dem Frischen Haffe zwischen Stettin und Swinemünde beobachtet werden. Dieselben erheben oder senken sich nämlich niemals gleichmäßig über den mittleren Wasserstand, oder sinken gleichmäßig unter denselben herab. Selbst schwache Winde veranlassen sehr wesentliche Abweichungen, und so kann es nicht fehlen, daß die absoluten Gefälle, die sich in der Divenow, in der Swine und in der Peene darstellen, gewöhnlich ganz verschieden sind. Von diesen hängt aber in hohem Grade die Geschwindigkeit des aus- oder eintretenden Stromes, und sonach auch die Wassermenge ab. Wenn demnach die directen Messungen nicht sehr oft, und zwar unter den verschiedensten Umständen wiederholt sind, um auf diese Weise die mittleren Werthe derselben zu finden, so führen sie zu keinem Resultate, wohl aber findet man die Vertheilung derselben auf die verschiedenen Mündungen durch folgende ziemlich einfache Betrachtung.

Der Strom, der eine dieser Mündungen bildet, hat im Allgemeinen nicht gleiche Breite und nicht gleiche mittlere Tiefe in seiner ganzen Länge, er setzt sich vielmehr aus einzelnen Strecken zusammen, die annähernd gleiche Breite b und gleiche mittlere Tiefe

t haben. Die Länge einer solchen einzelnen Strecke sei l , und M die hindurchfließende Wassermenge, die für alle Strecken desselben Stromes gleiche Gröfse hat. Nach den bekannten Formeln über die gleichförmige Bewegung des Wassers in Flussbetten findet man das absolute Gefälle h dieser einzelnen Strecke (vergl. § 65 im zweiten Theile dieses Handbuches)

$$h = \frac{M^2}{k^2} \cdot \frac{l}{b^3 t^3}$$

wo k ein constanter Factor ist, dessen Werth sich im Allgemeinen ungefähr auf 90 stellt. Hieraus ergibt sich das ganze absolute Gefälle von dem Binnensee bis zum Meere, oder umgekehrt

$$h + h' + h'' + \dots = \frac{M^2}{k^2} \left(\frac{l}{b^3 t^3} + \frac{l'}{b'^3 t'^3} + \frac{l''}{b''^3 t''^3} + \dots \right)$$

wo die folgenden h' , b' , t' , l' und so weiter, sich auf die übrigen Strecken beziehn. Setzt man dieses ganze Gefälle gleich H und der Einfachheit wegen den Ausdruck in der Parenthese gleich N , so hat man

$$H = \frac{M^2}{k^2} N$$

Für den zweiten Ausflufs sei die Wassermenge gleich M' , für einen dritten gleich M'' , und eben so bezeichne N' und N'' für diese anderen Mündungen die Summe der Glieder in der Parenthese. Das absolute Gefälle H ist aber für die verschiedenen Mündungen jederzeit dasselbe, wenn man von dem Einflusse des Windes absieht, also annimmt, daß sowol der Binnensee, als das Meer sich horizontal gestellt haben. Auch der constante Factor k hat in allen Ausflüssen denselben Werth. Sonach erhält man

$$M^2 N = M'^2 N' = M''^2 N''$$

oder

$$M : M' : M'' = \frac{1}{\sqrt{N}} : \frac{1}{\sqrt{N'}} : \frac{1}{\sqrt{N''}}$$

Die Werthe von N , N' , N'' kann man aber aus den Charten und Tiefenmessungen entnehmen, sie sind also bekannt, und sonach ergibt sich hieraus das Verhältniß zwischen den Wassermengen, welche durch die verschiedenen Mündungen ein- oder ausflossen.

Man könnte diese Herleitung nicht für zutreffend halten, weil sie für jede einzelne Strecke die gleichförmige Bewegung voraussetzt, während doch die Geschwindigkeiten in denselben verschieden sind, also die Vergrößerung der letzteren, die durch ein

kleineres Profil bedingt wird, einen gewissen Aufstau fordert, der zu jenem ganzen Gefälle noch hinzukommt. Dieser Zusatz verschwindet indessen beinahe ganz, wenn man die Voraussetzung macht, daß bei späterer Vergrößerung des Profiles die erlangte größere Geschwindigkeit den Abfluß wieder befördert. Aber wenn man von dieser kaum zulässigen Annahme auch nicht ausgeht, so läßt sich dennoch nachweisen, daß die zur Erzeugung der größeren Geschwindigkeit erforderlichen Gefälle vergleichungsweise gegen die bereits in Rechnung gestellten, höchst geringfügig sind.

In einer gewissen Strecke sei die Geschwindigkeit gleich c und in der folgenden vergrößere sie sich, so daß sie c' wird. Damit dieses geschieht, muß ein gewisser Aufstau vor der letzteren eintreten, der gleich

$$\frac{1}{4g}(c'^2 - c^2)$$

ist. Die Geschwindigkeiten kann man aber durch die Wassermenge und die Profile ausdrücken, also ist dieser Stau gleich

$$\frac{M^2}{4g} \left(\frac{1}{b'^2 \cdot t'^2} - \frac{1}{b^2 t^2} \right)$$

Das zweite negative Glied verschwindet gegen den Stau, der erforderlich war, um die Geschwindigkeit c zu erzeugen. Wenn sonach die Profile der einzelnen Strecken nach und nach kleiner, oder die Geschwindigkeiten in denselben immer größer werden, so fallen alle übrigen Glieder fort, und es bleibt nur dasjenige, welches sich auf das kleinste Profil bezieht, oder wo bt ein Minimum ist. Kommen später wieder größere Profile vor, die sich in den folgenden Strecken nochmals verkleinern, so treten neue Stauhöhen hinzu, die aus den betreffenden Differenzen sich zusammensetzen. Jedenfalls ist die Anzahl dieser Glieder vergleichungsweise gegen den oben mit N bezeichneten Ausdruck nur eine sehr kleine, und in diesem Ausdrucke giebt es jedesmal ein Glied, welches einen directen Vergleich mit der betreffenden Stauhöhe gestattet. Beispielsweise sei die dritte Strecke diejenige, welche das kleinste Profil hat. Zur Darstellung der nöthigen Geschwindigkeit in derselben würden also vor dieser und den vorhergehenden Strecken Aufstauungen erforderlich sein, die zusammen gleich

$$\frac{M^2}{4g} \cdot \frac{1}{b''^2 t''^2}$$

sind. In dem obigen Ausdrucke für das ganze Gefälle unter alleiniger Berücksichtigung der gleichförmigen Bewegung befindet sich aber ein Glied

$$\frac{M^2}{k^2} \cdot \frac{l''}{b''^2 \cdot t''^3}$$

Dieses verhält sich zu dem so eben berechneten, wie

$$\frac{l''}{k^2 t''} : \frac{1}{4g}$$

oder wie

$$1 : \frac{132 \cdot t''}{l''}$$

Indem nun die mittlere Wassertiefe nur einem überaus kleinen Theile der Länge der ganzen Stromstrecke gleich ist, so verschwindet der zuletzt berechnete Zusatz schon gegen das einzelne in Betracht gezogene Glied, und um so mehr geschieht dieses gegen die Summe aller Glieder. Man kann daher ohne merklichen Fehler die Stauhöhen ganz vernachlässigen, wenn nicht etwa der Abfluss sich aus weiten Seen zusammensetzt, welche durch enge und kurze Oeffnungen mit einander verbunden sind. In solchem Falle würde l sehr klein werden, oder vielleicht auch verschwinden, insofern in der schmalen Strecke die gleichförmige Bewegung gar nicht vorausgesetzt werden darf. Die Glieder von der Form

$$\frac{M^2}{4g} \cdot \frac{1}{b^2 t^2}$$

würden demnach alsdann nicht vernachlässigt werden dürfen.

Treten Verhältnisse dieser Art nicht ein, und ist es zulässig, den oben mit N bezeichneten Ausdruck ohne weiteren Zusatz anzuwenden, so stellt sich noch der grofse Vortheil heraus, dafs die Constante k in dem Resultate verschwindet, es also auf den Werth, der ihr beizulegen, gar nicht ankommt.

Dagegen läfst es sich vielfach ohne Einführung eines bedeutenden Fehlers nicht vermeiden, eine andre Correction anzubringen. Sehr oft befinden sich nämlich in dem Strome, der die Mündung bildet, Inseln, die ihn auf weite Entfernung in zwei Arme spalten. Das absolute Gefälle in beiden Armen ist dasselbe, man hat also, wenn die Bezeichnungen L , B und T für den Nebenarm eingeführt werden,

$$M = k \sqrt{h} \left(\sqrt[3]{\frac{b^2 t^3}{l}} + \sqrt[3]{\frac{B^2 T^3}{L}} \right)$$

und das betreffende Gefälle findet man

$$h = \frac{M^2}{k^2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{b^2 t^3}{l}} + \sqrt{\frac{B^2 T^3}{L}}} \right)^2$$

Dieser Ausdruck vereinfacht sich wesentlich, wenn die Länge beider Arme nahe dieselbe ist, also

$$L = l$$

Außerdem führe man die Bezeichnungen ein

$$B = mb$$

und

$$T = nt$$

Alsdann ist

$$h = \frac{M^2}{k^2} \cdot \frac{l}{b^2 t^3} (1 + \sqrt{m^2 n^2})^{-2}$$

und wenn m und n ächte Brüche sind, so kann man mit Vernachlässigung der folgenden Glieder setzen

$$h = \frac{M^2}{k^2} \cdot \frac{l}{b^2 t^3} \left(1 - 2mn^{\frac{1}{2}} \right)$$

Dieser Werth ist in den Ausdruck für N einzuführen.

Unter den verschiedenen localen Untersuchungen, welche der Aufstellung eines Hafen-Projectes vorangehn müssen, darf diejenige, welche sich auf den Küstenstrom und auf die Sand- oder Kiesmassen, die derselbe vorbeiführt, die er also gelegentlich auch in der Hafenmündung ablagert, nicht fehlen. Dieser Strom ist indessen, wenn er nicht etwa durch einen starken Fluthwechsel geregelt wird, in hohem Grade von den Witterungs-Verhältnissen und namentlich von dem Winde abhängig. Seine nähere Untersuchung ist demnach überaus schwierig. Die Umstände, welche auf das Vorhandensein einer von Westen nach Osten gerichteten Strömung längs der Preussischen Küste sehr sicher schließen lassen, sind bereits oben (§ 10) erwähnt worden, und zur Bestätigung dieser Annahme mag noch hinzugefügt werden, daß, als ich einst vor der Mündung des Greifswalder Bodden's mit einem Fahrzeuge vor Anker ging, dasselbe, trotz des sehr merklichen südlichen Windes, dennoch nach Süden aufdrehte. Die Strömung, die also der des Windes ganz entgegen gekehrt war, zeigte sich auch an den vorbeitreibenden Gegenständen sehr deutlich, und hatte etwa die Geschwindigkeit von 9 Zoll in der Secunde. Sie war aber keine andre, als die oben erwähnte Kreisströmung, die längs der Schwedischen Küste von Nor-

den nach Süden gerichtet ist, sich längs den südlichen Ufern der Ostsee hinzieht und bei Pillau und Memel sich wieder nordwärts wendet. Diese Strömung findet jedoch nur bei ziemlich ruhiger Witterung statt, während sie nach vielfachen Erfahrungen schon bei schwachen Gegenwinden wenigstens stellenweise in der Nähe der Küste nicht nur vollständig aufgehoben, sondern in eine entgegengesetzte verwandelt wird. Die Ermittlung ihrer durchschnittlichen Stärke dürfte daher nicht leicht sein, und noch schwieriger ist die Beantwortung der Frage, welche Sandmassen sie mit sich führt und stellenweise ablagert. An der Französischen Seite des Canales hat man dieselbe Frage mehrfach durch Messung der abgelagerten Kiesmassen zu beantworten, sich bemüht, und ohne Zweifel war dieses hier auch leichter, als an der Ostsee, weil die Erscheinungen viel regelmäßiger erfolgen. Man kam zu dem Resultate, daß im Havre etwa 10000 Cubikmeter oder 2250 Schachtruthen Kies jährlich antreiben, und daß bei Dieppe die Masse desselben ungefähr das Doppelte, also 4500 Schachtruthen beträgt. Indem nun die kräftigen Dampfbagger, die in den Seehäfen benutzt werden, bis 20000 Schachtruthen, auch wohl noch mehr in einem Jahre fördern, so würden mit Hülfe derselben diese antreibenden Massen leicht zu beseitigen sein, wenn sie an Stellen sich ablagerten, wo der Bagger dauernd und regelmäßig arbeiten könnte. In und vor den Hafenmündungen, soweit letztere in die offene See treten, ist dieses aber nicht der Fall, und eben deshalb wird es dringend nöthig, die Mündungen und die Fahrwasser vor den Häfen in andrer Weise gegen diese Ablagerungen zu sichern. Nur wenn die Rhede vor dem Hafen gegen die herrschenden Winde durch vortretende Ufer geschützt wird, wie etwa bei Neufahrwasser, darf man von der Baggerung den vollen Erfolg sich versprechen. Wie groß die Sandmassen sind, welche durch die Küstenströmung vor unsern Häfen vorbeigetrieben werden, ist bisher noch nicht festgestellt, jedenfalls läßt sich die Frage auch nicht allgemein beantworten. Wo ganz ungedeckte Dünen und sandige Ufer, die starkem Abbruche ausgesetzt sind, auf der westlichen Seite eines Hafens liegen, sind die vorbeigetriebenden Sandmassen am größten. Man darf aber wohl annehmen, daß bei der vergleichungsweise viel schwächeren und oft unterbrochenen Küstenströmung vor unsern Ufern auch bedeutend we-

niger Sand und Kies unsern Häfen zugeführt wird, als den Französischen, die am Canale liegen.

Wenn es sich endlich um die Ermittlung der im Wasser schwebenden erdigen Theilchen handelt, welche entweder der aus dem Binnenlande kommende Strom, oder die Fluthwelle herbeiführt, die über ältere Marschen oder über Thonboden getreten ist, so lassen sich die betreffenden Ermittlungen viel sicherer anstellen. Die hierzu dienenden Methoden sind bereits früher (§ 11) ausführlich beschrieben.

§. 38.

Richtung und Weite der Mündung.

Die Richtung und Lage der Hafenmündung ist augenscheinlich so zu wählen, wie sie sowol für die aus- und einlaufenden Schiffe, als auch für die im Hafen liegenden die größte Bequemlichkeit bietet. Zunächst muß dabei die Tiefe berücksichtigt werden, und in dieser Beziehung wird man dem Hafen eine solche Mündung geben, daß diese sich dem tiefsten Fahrwasser anschließt, welches nach der offenen See führt. Im Falle aber weder Sandbänke, noch sonstige Untiefen vor dem Hafen liegen, so wird man denselben, soweit nicht andere Rücksichten eine Aenderung nothwendig machen, in der kürzesten und directesten Linie mit der See in Verbindung setzen. Es giebt Häfen, in welchen diese Forderung ganz unbeachtet geblieben zu sein scheint, und in Betreff derer man von Sachverständigen, vorzugsweise aber von Laien vielfache Verbesserungs-Vorschläge hört. Man tadelt es oft als einen argen Mißgriff, daß gerade an der Stelle ein Hafen angelegt sei, wo die Sandbänke am weitesten vortreten, während in geringer Entfernung die größere Tiefe dem Ufer viel näher ist. Namentlich habe ich solchen Vorwurf wiederholentlich in Betreff des Swinemünder Hafens gehört, wo die Fünffaden-Linie etwa 800 Ruthen vor dem natürlichen Ufer liegt, während dieselbe anderthalb Meilen weiter ostwärts, bei Misdroy, wo der Vietziger See nebst der an denselben anschließenden Niederung sich bis nahe an die See erstreckt, nur etwa 300 Ruthen

von der Küste entfernt ist. Man beachtet dabei indessen nicht, daß die Sandablagerungen gerade durch die Ausmündung des Hafens und die zur Erhaltung der Tiefe in demselben nothwendige Durchströmung veranlaßt werden. Wo eine solche Durchströmung nicht statt findet, wo also der Sand, den der Küstenstrom herbeiführt, ohne Behinderung weiter getrieben wird, da giebt es auch keine Veranlassung zu seiner Anhäufung. Wohl aber tritt eine solche sogleich ein, sobald ein Hafen mit kräftiger Durchströmung eingerichtet wird. Wollte man aber einen Hafen anlegen, ohne denselben durchströmen zu lassen, so würde seine Mündung bei jedem starken Sturme vollständig verschüttet werden, und über dieselbe fort würde ein trockener Seestrand sich in gleicher Art bilden, wie dieses vor den Ausmündungen der Binnenseen an der Pommerschen Küste sehr häufig geschieht (§ 12). Der erwähnte Vorwurf ist also in diesem Falle ganz ungegründet, und eben so dürfte er auch sonst sich meist nicht rechtfertigen.

Dagegen ist die Richtung des Swinemünder Hafens in andrer Beziehung allerdings in ungewöhnlicher Weise gewählt worden. Dieselbe ist nämlich nicht dem tiefen Wasser zugekehrt, stimmt vielmehr sehr nahe mit derjenigen Richtung überein, in welcher das Ufer sich hinzieht. Die Situationszeichnung Fig. 101 giebt diese auffallende Anordnung noch nicht vollständig zu erkennen, weil das Ufer auf der westlichen Seite eine Curve bildet und in der Entfernung von drei Viertel Meilen gegen den letzten Theil der östlichen Mole nur einen Winkel von 10 Graden macht, und bald dahinter demselben sogar vollständig parallel läuft. Indem der Verkehr von Swinemünde sich vorzugsweise auf die Nordsee-Häfen bezieht, und nur ein kleiner Theil der einlaufenden Schiffe aus Ostsee-Häfen kommt, so veranlaßt die gewählte Richtung der Molen keineswegs einen bedeutenden Umweg, vielmehr stimmt diese Richtung nahe mit derjenigen überein, welche die meisten Schiffe wählen müssen, um an der östlichen Seite von Rügen vorbeizukommen. Auf einen geringen Umweg kommt es in der Seeschifffahrt gewöhnlich auch nicht an, aber der damit verbundene Uebelstand bezieht sich darauf, daß bei dieser sehr abweichenden Richtung der Hafenmündung derselbe Wind, der die Schiffe bis vor den Hafen bringt, zum Einsegeln in den letzteren oft nicht passend ist. Auch beim Aussegeln wiederholt sich dasselbe nachtheilige Verhältniß. Durch Benutzung

an Dampfbooten zum Aus- und Einbringen der Schiffe kann man sichtlich in den meisten Fällen leicht Hülfe schaffen, aber dieses Mittel ist immer mit bedeutenden Kosten verbunden, welche den Verkehr drücken und beeinträchtigen. Für die große Mehrzahl der Schiffe, die aus dem Süden kommen, oder dahin segeln, ist die gewählte Richtung weniger nachtheilig, mehr aber für diejenigen, welche nach den ostwärts belegenen Preussischen oder Russischen Häfen bestimmt sind. In Betreff der Erleichterung der Schifffahrt wäre es daher im Allgemeinen vortheilhafter gewesen, wenn der Hafen mehr in nördlicher Richtung seine Mündung erhalten hätte. Hierzu kommt aber noch eine andre, sehr nachtheilige Folge, die bereits zu vielfachen Bedenken Veranlassung gegeben hat. Sollte nämlich einst sich als nothwendig herausstellen, die Hafendämme zu verlängern, um über diejenigen Untiefen die Schiffe fortzubringen, die vielleicht vor der Mündung sich später ablagern, so würde man nach den bei uns geltenden Ansichten nicht wissen, wie man die Molen weiter führen soll. Wollte man dieselbe Krümmung fortsetzen, die sie bereits haben, so würde die Hafenmündung sich der Küste zukehren, also gar nicht das offene Meer erreichen. Eine Aenderung der bereits eingeführten Krümmung ist dagegen in der Nähe der Mündung des Hafens immer sehr gefährlich. Im Folgenden (§ 40) wird hiervon ausführlicher die Rede sein.

Derselbe Uebelstand, daß nämlich die ankommenden Schiffe bei demjenigen Winde, der sie bis vor den Hafen bringt, in den letzteren nicht einlaufen können, war für Marseille noch nachtheiliger, insofern der dortige Verkehr grossentheils nach dem Orient gerichtet ist. Die Schiffe segelten also bei östlichen Winden an. Anratherhalb Deutsche Meilen südwärts von Marseille, dem Leuchthurm gegenüber, eröffnet sich aber die große Bucht, in der Marseille liegt. Sobald also die Schiffe das Cap Croisette nebst den davor liegenden Inseln passirt hatten, mußten sie nordwärts steuern, und wenn sie auf diesem Wege das Cap Pharo erreichten, so waren sie gezwungen, in südöstlicher Richtung in das alte Hafen-Bassin einzulaufen. Diese Verlegenheiten, die hier nicht durch künstliche Anlagen, sondern durch die natürlichen Verhältnisse veranlaßt waren, erwiesen sich als überaus störend, und zwar um so mehr, als auf dem felsigen Boden und zwischen den vielfach daraus vortretenden Klippen das Ankern nicht gefahrlos war. Man

hatte sich dadurch geholfen, daß dem Cap Pharo gegenüber mehrere große Buoyen ausgebracht waren, an welche die ankommenden Schiffe gelegt wurden, um hier den zum Einsegeln günstigen Wind abzuwarten, oder um in den Hafen bugsirt zu werden. Durch die neue großartige Hafen-Anlage auf der Westseite der Stadt, ist dieser Uebelstand bereits in hohem Maasse vermindert. Die Schiffe können, indem sie von Süden ankommen, und das Cap Pharo passirt haben, in nordöstlicher Richtung den Vorhafen vor dem Bassin la Joliette erreichen, und wenn der Wellenbrecher zur Ausführung kommt, für den sich im Anfange des Jahres 1862 die Handelskammer in Marseille sehr bestimmt ausgesprochen hat, so wird das Einlaufen der Schiffe noch mehr erleichtert werden.

Die erwähnten Umstände sind keineswegs die einzigen, welche man bei der Anordnung der Hafenmündung zu berücksichtigen hat. Auch die Richtung des herrschenden Windes, so wie die der heftigsten Stürme verdient volle Beachtung. Im Allgemeinen kommt es aber weit mehr darauf an, daß die Schiffe ohne Gefahr und sicher einlaufen, als daß sie jeder Zeit in gleicher Weise ausgehn können. Wenn das Schiff bei starkem Sturme vor dem Hafen, den es ansegeln soll, ankommt, und noch mehr, wenn es wegen erlittener Havarien denselben aufsuchen muß, so kann es nicht leicht auf einer ungeschützten Rhede warten, bis der Wind diejenige Richtung annimmt, wobei das Einsegeln erfolgen kann. Die Benutzung von Dampfböten zum Bugsiren ist bei hohem Seegange auch nicht möglich. Der Hafen muß daher so angeordnet sein, daß bei den herrschenden Winden und namentlich bei den stärksten Stürmen die Schiffe sicher einlaufen können. Ganz anders verhält es sich mit dem Ausgehn der Schiffe. Wenn in neuerer Zeit auch der Abgang von Dampfböten gewöhnlich auf bestimmte Stunden festgesetzt ist, und ohne besonders dringende Veranlassung eine Verzögerung nicht eintreten darf, so wird man die Schiffe doch nicht der Gefahr aussetzen, auf den Hafendämmen oder den Untiefen oder Klippen vor dem Hafen zu stranden. Sie werden daher wenigstens so lange zurückgehalten, bis das heftigste Wüthen des Sturmes etwas nachläßt. Außerdem aber ist das Ausgehn eines Dampfbootes auch weniger bedenklich, als das eines Segelschiffes, weil jenes ohnerachtet der Einwirkung, die der Sturm darauf gleichfalls hat, dennoch durch die Maschine getrieben wird, und

so lange diese es bewegt, so folgt es auch dem Steuer, also in gewissem Maasse bleibt immer Gelegenheit geboten, es in dem Fahrwasser zu erhalten. Bei Segelschiffen dagegen würde das Auslaufen während eines heftigen Sturmes, der gerade den Hafen und sonach auch das Ufer trifft, schon deshalb ganz zwecklos sein, weil das Schiff, wenn es auch draussen wäre, doch nicht in der Nähe des Ufers auflaviren und seine Fahrt fortsetzen könnte. Ein solches bleibt also jedesmal im Hafen, bis der Wind sich dreht und den Beginn seiner Fahrt gestattet. Wenn hiernach die Bequemlichkeit des Ausbringens der Schiffe aus einem Hafen auch keineswegs ganz unberücksichtigt bleiben darf, so ist diese vergleichungsweise gegen das Einkommen derselben doch nur von untergeordneter Bedeutung.

Die herrschenden Winde, also diejenigen, die am häufigsten eintreten, und den grössten Theil des Jahres hindurch vorkommen, sind auf der nördlichen Hemisphäre und namentlich in den Europäischen Seehäfen die westlichen. Auch die stärksten Stürme haben bei uns im Allgemeinen dieselbe Richtung, aber die localen Verhältnisse veranlassen oft sehr auffallende Abweichungen. Der Sturm, der über Landflächen streicht, schwächt sich in hohem Grade, während er seine volle Stärke behält, wenn er von der Seeseite ein Ufer trifft. Sonach hat in jedem Seehafen der heftigste Sturm diejenige Richtung, welche der grössten Ausdehnung der davor liegenden Wasserfläche entspricht. So sind auf der Südseite der Provinz Bretagne bei Lorient die südwestlichen Stürme die heftigsten, weil dieselben von der nördlichen Küste Süd-Amerika's her über den Atlantischen Ocean streichen. Bei St. Jean-de-Luz dagegen, an der Bai von Biscaya ohnfern der Spanischen Grenze, ist der Nordwest-Sturm der verheerendste, weil hier der Ocean in der Richtung nach Grönland die grösste Ausdehnung hat. Dafs auch in der Ostsee dieselbe Verschiedenheit sich zu erkennen giebt, ist schon früher (§ 5) erwähnt worden. Bei Memel und Pillau sind die Weststürme die stärksten, bei Swinemünde dagegen die nordöstlichen, die vom Finnischen Meerbusen her über das Wasser streichen.

Die Hafenmündung mufs so gerichtet sein, dafs bei den herrschenden Winden die Schiffe einsegeln können, besonders mufs dieses aber bei den stärksten Stürmen möglich sein. Die letzte Bedingung läfst sich insofern gewöhnlich erfüllen, als die Hafenmün-

dung mehr oder weniger der normalen Richtung gegen das Ufer sich zu nähern pflegt, also derjenige Wind, der von der offenen See kommt, dieselbe trifft. Swinemünde macht freilich hiervon eine Ausnahme, aber dafür tritt auch der Vorthail ein, daß bei den heftigsten Stürmen die Wellen nicht direct einlaufen, und daß sonach die Schiffe, sobald sie den Kopf der östlichen Mole passirt haben, sich schon in ziemlich ruhigem Wasser befinden.

Zuweilen bilden sich vor den Hafenmündungen heftige Strömungen, die namentlich bei starkem Fluthwechsel die Geschwindigkeit von einer Deutschen Meile und wohl noch mehr in einer Stunde annehmen. Diese Geschwindigkeit ist zuweilen für die Schifffahrt sehr störend, und verhindert oft das Einsegeln vor dem Eintritt des Hochwassers, wenn die im Vorhafen vorhandene Tiefe dieses auch schon gestatten möchte. Beim Hochwasser mäßigt sich die Strömung und hört gemeinhin ganz auf, bevor sie die entgegengesetzte Richtung annimmt. Sie ist aber insofern nachtheilig, als sie theils das Schiff soweit versetzt, daß es vielleicht bei mäßigem Winde gar nicht einkommen kann, theils aber veranlaßt sie auch beim Einsegeln in den Hafen an der Stelle, wo sie aufhört, ein starkes Drehen des Schiffes, indem dieses in seinem hintern Theile von ihr noch getroffen wird, während der Bug ihrer Einwirkung bereits entzogen ist. In welcher Weise das Schiff gesteuert werden muß, damit es von dem Strome nicht versetzt, vielmehr in der passendsten Richtung in den Hafen geführt wird, ist schon früher (§ 32) mitgetheilt worden.

Diese Strömung erschwert zuweilen das Einlaufen der Schiffe ungemein, und namentlich geschieht dieses, wenn Sand- und Kiesbänke auf einer oder der andern Seite vortreten, und die gerade Richtung des Fahrwassers unterbrechen, also umfahren werden müssen. Es ist auch sonst zuweilen nicht möglich, das Schiff allein mit Hülfe der Segel bis in den Hafen zu bringen, und wenn man alsdann nicht ankern will, so läßt man das Schiff in den Wind auflaufen, damit es noch demjenigen Hafenkopfe sich nähert, der auf der Windseite liegt. Auf diesem muß Alles vorbereitet sein, um von hier aus sogleich ein Tau entgegen werfen zu können, an welchem das Schiff aufgewunden, oder wenn es nur klein ist, eingeschleppt wird. In manchen Französischen Häfen am Canale geschieht dieses sehr häufig, und besondere Leute versehen diese

Hülfsleistung mit großer Geschicklichkeit und Sachkenntniß, so daß das Schiff sicher und schnell eingebracht wird. In diesem Falle ist es aber nothwendig, daß das Schiff dem Hafenkopfe bis auf wenige Füsse sich nähern kann, und daß man auch im Stande ist, den Hafendamm selbst beim Stürme seiner ganzen Länge nach zu begeben. In Swinemünde wie in manchen andern unserer Häfen ist solche Hülfsleistung nicht ausführbar, weil eines Theils die Steinschüttungen zu weit vortreten, und andererseits die Dämme auch so niedrig und so wenig geschützt sind, daß bei Stürmen ein Betreten derselben höchst gefährlich und zuweilen ganz unmöglich ist.

Sowol das Einsegeln, als das Ausgehn der Schiffe wird wesentlich erleichtert, wenn der Hafen mit zwei Mündungen versehen ist, oder wenn ein isolirter Damm denselben gegen die See begrenzt, und auf beiden Seiten von diesem sich Zugänge befinden. Wenn der Wind oder die Strömung die Benutzung des einen verhindert, so ist die des andern gewöhnlich nicht nur möglich, sondern sogar ziemlich bequem. Nichts desto weniger ist eine solche Anordnung, obwohl sie vielfach empfohlen wird, doch vor solchen Ufern bedenklich, wo große Sand- und Kiesmassen vorbeitreiben, oder wo in andrer Art Verflachungen sich leicht bilden. Die Erfahrung hat bei Cette auch bereits gezeigt, daß eine dieser Mündungen in kurzer Zeit ihre frühere Tiefe verlor (§ 34). Hierzu kommt aber noch, daß durch die beiden nach verschiedenen Richtungen eröffneten Mündungen die Wellen häufiger in den Hafen treten und die darin befindlichen Schiffe beunruhigen, als wenn nur ein Zugang vorhanden wäre.

Für das Ein- und Aussegeln der Schiffe erreicht man beinahe dieselben Vortheile, wenn der Vorhafen in ein recht weites Bassin verwandelt wird, die beiderseitigen Hafendämme aber an ihren Enden gegen einander treten und die Mündung stark verengen, um das Einlaufen der Wellen möglichst zu beschränken. Es bildet sich dadurch eine Gestaltung des Hafens ähnlich derjenigen, die bei Kingstown gewählt ist (Fig. 102), und man bemerkt, wie die Schiffe hier in sehr verschiedenen Richtungen, also auch bei den verschiedensten Winden ein- und ausgehn können, ohne daß sie der Gefahr ausgesetzt sind, die vortretenden Hafenköpfe zu berühren.

Die vorstehenden Erörterungen bezogen sich auf das Ein- und

Aussegeln der Schiffe. bei der Anordnung der Hafenmündung muß indessen auch darauf Rücksicht genommen werden, daß der Wellenschlag der See sich nicht mit Heftigkeit in den Hafen fortsetzt. Welche Mittel man anwenden kann, um die eintretenden Wellen zu mäßigen, ist bereits mitgetheilt worden (§ 33), es leidet indessen keinen Zweifel, daß durch die angemessene Wahl der Richtung der Mündung diese Bewegung gleichfalls wesentlich geschwächt werden kann. Besonders wenn die Hafendämme parallel geführt sind, und an ihren äußern Enden sich nicht einander nähern, so pflegen die in der Richtung derselben anlaufenden Wellen sich ungeschwächt durch den ganzen Hafen fortzusetzen. Stimmt diese Richtung dabei noch mit der der stärksten Stürme überein, so sind die im Hafen liegenden Schiffe einem überaus heftigen Wellenschlage und sonach einer grossen Gefahr ausgesetzt. In dieser Beziehung ist die Mündung des Swinemünder Hafens sehr zweckmässig angeordnet. Ihre Richtung trifft schon in der Entfernung von wenig Meilen das Ufer der Insel Usedom. Sehr heftige Wellen treten also niemals gerade in den Hafen. Die stärksten Stürme sind hier die nordöstlichen, und bei solchen schlagen zwar die Wellen über die Ost-Mole, auch bilden sich durch die Uebertragung der Bewegung neue Wellen, die in den Hafen einlaufen, aber dennoch haben diese nicht entfernt die Stärke, welche sie bei einer nordöstlichen Mündung haben würden, und so geschieht es, daß zwischen den Molen die Bewegung immer ziemlich mässig bleibt. In dem Binnenhafen, wo die Schiffe anlegen oder ankern, wird der Wellenschlag aber niemals bedeutend oder gefährlich.

Bei Häfen, die an Küstenstrecken liegen, wo grosse Sand- und Kiesmassen vorbeitreiben, pflegt man ferner darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Hafenmündung nicht gerade so gerichtet ist, daß sie dieselben besonders leicht auffängt. Es ist freilich nicht in Abrede zu stellen, daß dieser Gegenstand eine sehr verschiedenartige Auffassung zuläßt, und daß es daher schwierig ist, mit Sicherheit darüber zu entscheiden, nichts desto weniger kann man bei Betrachtung mancher Hafenmündungen die Ueberzeugung nicht unterdrücken, daß wenn es Aufgabe gewesen wäre, den Hafen nebst seiner Mündung recht schnell zur Verlandung zu bringen, die Anordnung nicht zweckmässiger hätte gewählt werden können, als sie wirklich gewählt ist. In Betreff des Hafens bei Ramsgate

ist diese Ansicht von dem Englischen Ingenieur Rendel ausgesprochen worden. Die Küstenströmung hat hier beim Uebergange über die Fläche Goodwin-Sand und über die andern vor das Ufer weit vortretenden Bänke eine große Masse erdiger Theilchen aufgenommen, und indem sie die Hafenmündung passirt, tritt ihr auf der nördlichen Seite derselben der später hier vorgebaute schräge Flügel entgegen. Letzterer kann ohne Zweifel nicht anders wirken, als eine inclinante Buhne an einem Flußufer. Die in diesem Hafen fortwährend nothwendigen, sehr ausgedehnten Baggerungen scheinen auch zu bestätigen, daß dergleichen Wirkungen hier in der That eintreten. Nach den darüber angestellten verschiedenen Untersuchungen*) müssen in jedem Jahre 200000 bis gegen 300000 Tons, also ungefähr 20000 bis 30000 Schachtruthen gebaggert werden. Indem nun der Vorhafen 34 Acres oder 9700 Quadratruthen enthält, so ergibt sich, daß derselbe jährlich im Durchschnitte um 2 bis 3 Fuß sich verflacht, was allerdings ungewöhnlich stark ist. Auch in andern Ländern und namentlich in Deutschland findet man Häfen, deren Mündungen nach dieser Auffassung eben so nachtheilig gerichtet sind.

Obwohl der Hafen von Ramsgate keineswegs als Muster gelten kann, so ist er doch in vielfacher Beziehung sehr wichtig und zugleich eines der ersten Beispiele einer großartigen Anlage, wobei weder eine natürliche Bucht, noch die weite Mündung eines Flusses, die schon früher als Nothhafen diente, durch künstliche Mittel gesichert und dadurch für die Bequemlichkeit der Schifffahrt gesorgt wurde, vielmehr ist hier vor einem ziemlich geraden Ufer an der offenen See der Hafen dadurch geschaffen, daß man durch weit vorgeschobene Hafendämme ein geräumiges Bassin bildete. Es dürfte sich daher empfehlen, eine kurze Beschreibung dieses Hafens hier einzuschalten. Fig. 116 zeigt die Situation desselben in seinem gegenwärtigen Zustande.

Schon in der früheren Zeit unter Eduard VI und unter der Königin Elisabeth war von der Anlage eines Hafens an dieser Stelle die Rede, um vor der Mündung der Themse den Schiffen einigen Schutz zu gewähren. Mehrfache Projecte wurden aufgestellt. 1713

*) Nach dem vom Capitain Vetch im Jahre 1853 dem Parlamente erstatteten Berichte.

erbaute man einen einzelnen Hafendamm oder Pier, der längere Zeit bestand, und hinter dem bei dem heftigen Sturme 1748 einige Schiffe Schutz fanden. Vorzugsweise wurde aber auf die Erfahrung großes Gewicht gelegt, daß derselbe keine bedeutende Verlandung neben sich veranlaßt hatte. Hieraus folgerte man, daß auch in einem abgeschlossenen Hafen in dieser Gegend die Tiefe sich werde erhalten lassen.

1749 wurde endlich auf das Gutachten von Sachverständigen der Bau des Hafens beschlossen, und zwar entschied man sich für diejenige Lage und Richtung der Hafendämme, welche diese auch wirklich erhalten haben. Dieselben sind wieder in sofern sehr wichtig, als sie sich steil aus dem Grunde ohne flache seeseitige Böschung erheben. Der Zimmermeister King, der die Pfeiler der alten Westminster-Brücke in London in Caissons erbaut hatte, unternahm es, dieselbe Construction auch bei diesen Hafendämmen anzuwenden, und wenn in neuerer Zeit sich allerdings vielfache Beschädigungen daran zu erkennen gegeben haben, die sogar ein theilweises Unterfahren nothwendig machten, so haben die Dämme sich doch bisher erhalten und, soviel bekannt, glaubt man gegenwärtig die Gefahr beseitigt. Der Fluthwechsel beträgt zur Zeit der Springfluthen 16 bis 18 Fuß, und in todten Fluthen 12 Fuß. Die Dämme erheben sich $8\frac{1}{2}$ Fuß über das höchste Wasser und sind durchschnittlich 24 Fuß hoch, sie treten also bei Springfluthen vollständig über das Niedrigwasser heraus, nur an den Köpfen liegt der Grund tiefer. Die Dämme sind in der Basis etwa 36 Fuß breit und steigen 6 Fuß senkrecht an. Von hier ab sind sie sowol auf der Binnen- als auf der Außenseite mit der geringen Böschung von $4\frac{1}{2} : 1$ eingezogen und haben in ihrer Krone, die einen bequemen Weg bildet, die Breite von 23 bis 24 Fuß. Auf ihrer äußern Seite steht eine starke Brustmauer.

1773 war der Hafen in dieser Weise vollendet, und es stellte sich damals sehr deutlich heraus, daß die Verflachung in diesem Bassin übermäßig stark ist. Smeaton schlug daher vor, letzteres durch einen Zwischendamm in der Art zu theilen, daß nur der vordere Theil das offene Bassin oder der Vorhafen bliebe, der hintere dagegen Flotthafen und zugleich Spülbassin würde. Diese eigenthümliche und gewiß nicht zu empfehlende Anordnung wurde gewählt und ist auch seitdem beibehalten.

Indem bei östlichen Winden eine sehr starke Bewegung im Hafen eintrat, so wurde 1787, also kurze Zeit vorher, ehe Smeaton mit der dauernden Leitung dieser Bauten beauftragt war, die Ausbesserung des schrägen Flügels beschlossen, der sich vom Kopfe des östlichen Hafendamms aus bis vor den westlichen hinzieht. 1791 war dieser Bau beendigt, wobei schon die Taucherglocke angewendet wurde. Gleichzeitig kam das Trockendock im Flotthafen zur Ausführung. Im Jahre 1806 wurde die zweite Dockschleuse, nämlich die westliche, die eine größere Weite, als die erste erhalten hatte, dem Verkehr übergeben. Das Patent-Slip auf der östlichen Seite des Vorhafens ist 1838 erbaut.

Die vorstehenden historischen Notizen umfassen nur die wichtigsten Anlagen und es sind dabei die verschiedenen Erneuerungen und Verbesserungen derselben unerwähnt geblieben. Ueber den gegenwärtigen Zustand des Hafens wäre Folgendes zu bemerken.

Die Hafenmündung ist 200 Fuß Englisch oder 194 Rheinländische Fuß weit. Bevor der schräge Flügel an den Kopf des östlichen Damms angebaut wurde, hatte sie die Weite von 300 Fuß. Dieser Flügel ist es, dem man zum Theil die starke Verschlamung des Hafens zuschreibt, und derselbe trägt auch wahrscheinlich zweifacher Beziehung hierzu bei. Die erste Fluth, die den Hafen füllt, kommt nämlich aus dem Canale, und dieser tritt der Flügel eine inclinante Buhne entgegen. Aber gerade die erste Fluth ist in Betreff der Verflachungen, und namentlich durch das größere Material am nachtheiligsten, weil die ausgedehnten davor liegenden Bänke alsdann noch den niedrigsten Wasserstand über sich erheben, und sonach am stärksten von den Wellen angegriffen werden. Außerdem befördert dieser Flügel auch insofern die Verlangsamung im Vorhafen, als er den Wellenschlag darin mäßigt.

Auf dem Kopfe dieses Flügels bei *A* befindet sich ein sehr kräftiges Gangspill, mit dem sowol den ein- als auskommenden Schiffen Hülfe geleistet werden kann. Auf dem Kopfe des westlichen Hafendamms steht ein Leuchthurm *B*. An den innern Seiten beider Hafendämme sind 5 Treppen *C* angebracht, die sich je einmal in etwas zurückspringenden Mauernischen befinden, also von den Schiffen nicht leicht berührt werden können. *D* ist das erwähnte Patent-Slip, das gleichfalls im Vorhafen angelegt ist.

Der Flotthafen, der zugleich als Spülbassin dient, ist durch einen Querdamm vom Vorhafen getrennt. In diesem Damm befinden sich zwei Dockschleusen, deren jede nur ein Paar Stemmtore hat, die nach innen aufschlagen, also den Wasserstand der Fluth im Flotthafen zurückhalten. Die westliche Schleuse *E* ist 40 Fuß, die östliche dagegen nur 30 Fuß Englisch weit. Ueber beide führen Drehbrücken. Bei *G* endlich befindet sich das Trockendock, welches durch einen verschließbaren Canal unter dem Querdamm mit dem Vorhafen in Verbindung steht, durch welchen es zur Zeit des Niedrigwassers vollständig oder doch größtentheils trocken gelegt werden kann.

Was die Anstalten zur Beseitigung der Verflachungen im Vorhafen betrifft, so müssen zunächst die Spülschleusen erwähnt werden. Es sind deren acht Stück vorhanden, die zusammen die lichte Weite von 92 Fuß Engl. haben. Zwei derselben befinden sich dicht neben einander auf der östlichen Seite des Querdammes bei *H*, alsdann folgt eine einzelne bei *I*, zwischen den beiden Dockschleusen liegen zwei solche bei *K* und *L*, eine einfache wieder bei *M* und endlich am westlichen Ende des Querdammes bei *N*. Die Einrichtung dieser Spülschleusen ist nicht die gewöhnliche, wobei die Oeffnung plötzlich frei gestellt wird. Sie werden vielmehr durch Schütze geschlossen. Eine andre Anordnung liefs sich hier nicht treffen, weil man dafür sorgen mußte, die Oeffnungen schließen zu können, während noch eine sehr heftige Strömung hindurchgeht. Dieses war aber nothwendig, insofern das Spülbassin zugleich Flotthafen ist, und sonach der Wasserstand in demselben nur so tief gesenkt werden darf, daß die darin liegenden Schiffe den Grund nicht berühren. Es ist augenscheinlich, daß hierdurch die Wirkung der Spülung außerordentlich geschwächt wird. Ueberdies tritt durch die Verbindung der beiden Zwecke des hinteren Bassins noch der wesentliche Nachtheil ein, daß der Wasserverlust beim Spülen in der nächsten Fluth wieder ersetzt werden muß, daß also große Quantitäten trüben Wassers in den Flotthafen geführt werden, welche auch hier eine rasche Erhöhung des Bodens veranlassen, die nur durch häufiges Baggern beseitigt werden kann.

Die Wirkung der Spülung erwies sich in der That sehr bald als ungenügend, und man bemühte sich daher, nur einzelne Stellen des Vorhafens, also einzelne Fahrwasser in demselben offen zu er-

halten. Zu diesem Zwecke sind neben den wichtigsten Spülschleusen Leitdämme hinausgeführt, welche die Figur nachweist, doch auch sie haben keineswegs die Absicht vollständig erfüllt. Man mußte also noch eine kräftige Baggerung einführen. Schon sehr frühe wurde ein Dampfbagger hier in Thätigkeit gesetzt, und später ist noch ein zweiter besonders wirksamer hinzugekommen, aber sowol durch diese Räumung, als auch durch das erwähnte Spülen hat man nur ein weites mittleres Fahrwasser, das zu den Dockschleusen führt, und zwei solche zur Seite der beiden Hafendämme offen erhalten können. Bei dem gewöhnlichen Niedrigwasser verwandelt sich der Vorhafen in einen Sumpf, aus welchem die mit punktirten Linien eingeschlossenen, zum Theil recht hohen Bänke hervortreten.

Schließlich mag erwähnt werden, daß zur Zeit des niedrigsten Wassers in der Hafenmündung der Wasserstand 9 Fuß, und über den Schlagschwellen der beiden Schleusen 2 Fuß beträgt.

Bei den Hafenmündungen im Allgemeinen kommt die Weite derselben in hohem Grade in Betracht, und man ist immer bemüht, diese auf das geringste zulässige Maas zu reduciren, damit die Wellenbewegung nicht zu stark wird. Sie muß indessen für das bequeme Aus- und Einlaufen der Schiffe genügen. Außerdem ist vielleicht zuweilen dabei auch die Vorfluth zu berücksichtigen, wenn größere Ströme durch den Hafen ausmünden, wie dieses zum Beispiel bei Swinemünde geschieht.

Das geringste Maas der Breite, welches die Schifffahrt fordert, läßt sich nicht allgemein bezeichnen, es ist vielmehr zum Theil durch die GröÙe der Schiffe, noch mehr aber durch die Lage des Hafens bedingt. Wo die Wasserfläche vor einem Hafen sich stets in Ruhe befindet, wo sie also weder durch Wellenschlag, noch auch durch Strömung in Bewegung gesetzt wird, da ist es leicht, die Schiffe durch Oeffnungen hindurchzuführen, die nur wenig breiter als sie selbst sind, wie dieses bei Schiffschleusen immer geschieht. Wenn aber im Gegentheile heftiger Seegang davor statt findet, oder ein starker Strom vorbeizieht, so daß die Schiffe nicht genau in die Richtung der Mündung gebracht werden können, oder vielleicht schräge einsegeln und doch soweit von den Hafenköpfen entfernt bleiben müssen, daß sie bei den unvermeidlichen Seitenbewegungen nicht auf dieselben getrieben werden, so ist eine viel größere Breite dringend geboten.

Es dürfte wenig Häfen geben, deren Mündung so weit ist, wie die des Swinemünder Hafens. An der Stelle, wo die westliche Mole aufhört, ist diese, in der Wasserfläche gemessen, 1060 Fufs von der östlichen Mole entfernt. Das Fahrwasser, welches von 18 Fufs tief gehenden Schiffen benutzt werden kann, hat jedoch nur den dritten Theil dieser Breite. Es ergiebt sich aus der Geschichte dieses Baues, daß man schon vor dem Beginne desselben besorgt war, der Abfluß des Wassers möchte durch zu große Verengung der Mündung behindert werden, und dieser Umstand gab wohl Veranlassung, daß man die bezeichnete Breite wählte oder vielmehr beibehielt. Hierdurch ist dieser Hafen dem Schicksale der in Hinter-Pommern belegenen entgangen, welches auch der von Neufahrwasser theilt, die sämmtlich mit langen schmalen Hälsen versehen sind. Bei ihm ist also die Gelegenheit geboten, daß er in seinem äußern Theile in einen Bassin-Hafen verwandelt werden kann, wenn einst die westliche Mole eben so weit, wie die östliche verlängert, und hier mit einem Flügel versehen wird, der die Mündung bis auf das kleinste zulässige Maafs verengt.

Der Hafen von Colbergermünde hat in seiner Mündung die Weite von 100 Fufs, doch nähern sich die beiderseitigen Molen in geringer Entfernung bis auf 80 Fufs. Auch der Hafen bei Rügenwaldermünde erweitert sich etwas an der Seeseite, indem er hier 84 Fufs, weiter rückwärts aber nur 70 Fufs breit ist. Noch mehr findet dieses bei Stolpmünde (Fig. 117) statt, wo die Mündung 108 Fufs, weiter rückwärts der Hafen aber nur 72 Fufs breit ist. Auch dem Hafen von Neufahrwasser hat man bei seiner letzten Verlängerung eine Mündung von 300 Fufs Breite gegeben, während derselbe durchschnittlich noch nicht die Hälfte dieser Breite hat.

Die sehr geringe Breite der drei Häfen in Hinter-Pommern ist unbedingt nicht genügend, und dieses um so weniger, als alle drei am offenen Meere liegen. Es gehört auch keineswegs zu den Seltenheiten, daß Schiffe beim Einsegeln auf die Molen geworfen werden. Um dieses möglichst zu verhindern, sind die letzteren mit sogenannten Gordungswänden umgeben, das heißt mit verholzten Pfahlreihen, die sich vor dem Fusse der Steindossirungen hinziehen. Diese werden daher getroffen und oft auch sogleich abgebrochen, sobald die Schiffe zu weit rechts oder links treiben. In Fig. 117

sind diese Gordungswände durch die stark punktirten Linien bezeichnet.

Der eigentliche Hafen von Pillau, der, wie erwähnt, nicht unmittelbar an der offenen See, vielmehr an der breiten Verbindung zwischen See und Haff liegt, ist in seiner Mündung nur 144 Fufs weit, und etwa 15 Ruthen rückwärts misst seine Weite sogar nur 120 Fufs. Das Einsegeln in diesen Hafen ist insofern unbequem, als die Schiffe, die von der See aufkommen, vor demselben eine ziemlich scharfe Wendung machen und sogar gewöhnlich die nicht unbedeutende Strömung durchschneiden müssen, die sich unmittelbar vor ihm concentrirt. Als der östliche Hafendamm in dieser Weise so eben verlängert war, geschah es freilich, daß ein großes Schiff dagegen getrieben wurde und eine leichte Havarie erlitt. Dieses war indessen allein die Folge der Unaufmerksamkeit des Lotsen, und später ist es stets gelungen, die Schiffe unbeschädigt hineinzubringen, indem sie von dem nördlichen Ufer des Tiefen etwas entfernt gehalten und so gewendet wurden, daß sie ohne weitere Aenderung des Courses in den Hafen einfahren konnten.

Es mögen hier noch die Weiten der Mündungen einiger auswärtigen Häfen mitgetheilt werden, deren Maasse freilich zum Theil weniger sicher sind, insofern die Angaben darüber in den verschiedenen Schriften keineswegs genau übereinstimmen.

Die am Canale zwischen Frankreich und England, und zwar an der Südseite belegenen Häfen stimmen mit den Canals-Häfen in sofern überein, als sie bei der starken Verflachung ihrer Mündungen noch weit mehr weiter hinausegelagert sind, als mit langen und parallelen Hafenschiffen versehen sind. Man hat diese auch zuweilen bei den späteren Verflachungen wieder etwas von einem der andern im Lande zurückgezogen, um die Mündung zu verengen, und gerade diese Verengung der Mündung ist es, welche die Häfen vor der stärksten Gefahr durch die Sturmfluthen zu retten vermag.

Der Hafen von Calcutta ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Bombay ist 201 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Madras ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Singapore ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Batavia ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Amboina ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Ternate ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Macassar ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Manilla ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Cebu ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Zamboanga ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Iloilo ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Cagayan ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Zamboanga ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Iloilo ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit. Der Hafen von Cagayan ist 172 Fufs lang und 120 Fufs breit.

Der Eingang in den Hafen vom Havre, der nicht am offenen Meere liegt, ist 210 Fufs weit, derjenige von Lorient nur 190 Fufs. Der Hafen von Cette hat, wie bereits erwähnt, zwei Eingänge. Die Breite des östlichen misst 640, und die des westlichen 960 Fufs. Die Mündung des Hafens von Agde beträgt 320 Fufs, die des alten Hafens von Marseille 260 und die des Hafens la Ciotat 287 Fufs.

Was die Englischen Häfen betrifft, so mag noch angeführt werden, daß derjenige bei Dover eine Mündung von 165 Fufs, bei Ramsgate von 194 Fufs, bei Great-Grimsby von 445 Fufs, bei Sunderland von 330 Fufs, bei Leith von 240, bei Howht von 320 und bei Kingstown von 680 Fufs hat. Die sehr grofse Breite der Mündung des letzten Hafens war dadurch geboten, daß die im Irischen Canale segelnden Schiffe zur Zeit heftiger Stürme hier Schutz finden sollten. Sie segeln den Hafen alsdann aber von der Ostseite an, und passiren die Mündung in sehr schräger Richtung. Es ist auch bereits mitgetheilt worden (§ 33), daß es ursprünglich Absicht war, die beiden Hafendämme einander mehr zu nähern, und daß mehrfache Bedenken über die Frage erhoben sind, ob die gewählte Weite nicht zu grofs sei und eine zu starke Wellenbewegung im Hafen veranlasse.

Wenn aus vorstehenden Angaben ein Schluß gezogen werden soll, so möchte sich wohl rechtfertigen, das Maafs für die zu wählende Weite der Mündung eines Handelshafens, der am offenen Meere liegt und von grofsen Schiffen besucht wird, auf 200 bis 300 Fufs anzunehmen. Kleinere Weiten dürften nur zulässig sein, wenn die Rhede geschützt ist, und zu gröfseren wird man sich nur verstehn, wenn der Hafen ein Bassin-Hafen ist, in welchen also die Schiffe in sehr abweichenden Richtungen einsegeln können.

§. 39.

Erhaltung der Tiefe.

Es giebt nur wenige Häfen, in denen keine Verflachungen stattfinden. Sie fehlen nur, wenn weder solche Flüsse noch Bäche sich in sie ergiefsen, die Sand oder Kies oder feinere erdige Stoffe ihnen zuführen, und wenn ausserdem auch die Küstenströmung kein Material hineintreibt. Endlich müssen die Umfassungswände hin-

siehend dicht, und die umgebenden Ufer so befestigt sein, daß der Sand nicht vom Winde hineingeweht wird. Solche günstige Umstände treffen nicht leicht zusammen, und daher muß man fast alle Häfen periodisch ausbaggern, um die nöthige Tiefe ihnen zu erhalten. Man ist oft der Ansicht, daß diese kostbare und lästige Arbeit sich vermeiden läßt, indem die hindurchgehende Strömung schon die Ablagerungen verhindern, oder falls solche zeitweise doch erfolgt sind, dieselben später wieder beseitigen kann. Für diesen Zweck müßte die Strömung aber ungewöhnlich stark und zugleich auch dauernd sein, oder sich doch in sehr kurzen Zwischenzeiten immer wieder aufs Neue einstellen. Ein Beispiel dieser Art ist nur der Hafen Nieuwen-Diep (Fig. 28), bei dem in Folge der eigenthümlichen Fluthverhältnisse eine sehr starke Durchströmung des Hafens erfolgt. In welcher Weise dieselbe künstlich dem Hafen zugeführt wird, soll im Folgenden mitgetheilt werden.

In der Regel ist die Wassermenge, die den Hafen durchströmt, vergleichungsweise gegen das große Profil, welches man dem letzteren geben muß, viel zu unbedeutend, als daß sie eine kräftige Spülung veranlassen könnte. Der Hafen muß nämlich hinreichende Tiefe haben, damit die Schiffe, auch wenn sie beladen sind, den Grund nicht berühren, und zugleich muß er so breit sein, daß Schiffe in mehreren Reihen an den Kais liegen können, ohne die Bewegung anderer zu verhindern. Hierdurch wird ein so großes Profil bedingt, wie selbst in ansehnlichen Strömen sich nicht zu bilden pflegt, ein solches kann sich daher auch nicht dauernd von selbst erhalten. Dieser Uebelstand läßt sich indessen beseitigen, insofern der Hafen gegen Wellenschlag gesichert ist, und sonach der Bagger, wenn auch vielleicht mit kurzen und seltenen Unterbrechungen, doch unter gewöhnlichen Witterungs-Verhältnissen mit Erfolg arbeiten kann.

Ganz anders verhält es sich dagegen mit der Mündung des Hafens und mit dem Fahrwasser vor demselben. Beide sind, wenn sie an der offenen See liegen, gegen den Wellenschlag nicht geschützt, und sonach ist die künstliche Vertiefung hier nur bei besonders ruhiger Witterung, also nur ausnahmsweise möglich. In ihnen müssen demnach die Verflachungen möglichst verhindert, oder wenn sie vorübergehend entstanden sind, durch einen kräftigen Spülstrom bald wieder beseitigt werden.

Soweit es irgend geschehn kann, muß man aber im Hafen selbst jede Verflachung zu verhindern suchen, um die Baggerarbeiten auf das kleinste Maass zu beschränken. In dieser Beziehung ist es sehr wichtig, wenn durch den Hafen ein ausgedehnter Binnensee oder ein Haff mit dem Meere in Verbindung steht, und die Ströme oder Flüsse, die hier münden, sich in den ersteren ergießen. Alle erdigen Theilchen und aller Sand, die sie mit sich führen, fallen alsdann in diesem zu Boden, und der aus ihm in den Hafen eintretende Strom enthält nur reines Wasser. Bei mehreren unserer Häfen ist dieses der Fall.

Wenn dagegen ein Fluß oder Bach sich unmittelbar in den Hafen ergießt, und diesem viele Sinkstoffe zuführt, die in den weiten und tiefen Profilen des Hafens niederschlagen, so rührt dieses häufig davon her, daß die Ufer jenes Zuflusses hoch und sandig und nicht gehörig befestigt sind, also abbrechen und dadurch den Wasserlauf mit großen Massen erdiger Theilchen versehn. Um diesen Uebelstand zu beseitigen, müssen die Ufer gedeckt, oder andre Vorkehrungen getroffen werden, um die abbrechenden Massen vom Hafen abzuhalten. Neben Port Vendre, am Fusse der Pyrenäen, hatte man die Schluchten, in welchen bei starkem Regen große Wassermassen herabstürzen, durch Mauern aus Bruchsteinen geschlossen, damit die Steine und das Gerölle, welches von dem Wasser gelöst und fortgerissen wird, sich vor denselben ansammeln möchte. Dieses war auch im vollsten Maasse geschehn, denn oberhalb der Mauern hatten sich die tiefen Bachbetten vollständig angefüllt, so daß nunmehr kein weiterer Erfolg von diesen Anlagen zu erwarten war. Wenn man aber auch an solchen Stellen von Zeit zu Zeit Räumungen vornimmt, so sind diese jedenfalls weniger kostbar, als wenn der Bach die Steine bis in den Hafen treibt, und man sie alsdann von der Sohle desselben heben und von hier fortbringen muß.

Auch der Sand und andre erdige Theilchen lassen sich in ähnlicher Weise von dem Hafen abhalten. Wenn man nämlich oberhalb des letzteren dem Flusse künstlich ein recht großes Profil giebt, oder ein Klärungs-Bassin bildet, das er durchströmt, so werden wegen der sehr geringen Geschwindigkeit die im Wasser schwebenden, oder die auf dem Boden fortgeführten Stoffe sich hier ansammeln, und das Wasser wird rein in den Hafen treten. In

dieser Weise füllt sich freilich das künstliche Bassin eben so an, wie sonst der Hafen sich verflacht haben würde, und man muß, sobald es nöthig ist, jenes durch Ausbaggern oder Ausgraben wieder vertiefen. Es wird also die Arbeit des Aufräumens nicht umgangen, es liegt jedoch ein sehr großer Gewinn darin, wenn die Baggararbeiten im Hafen selbst aufhören oder sich wesentlich vermindern, weil einestheils alsdann die Schifffahrt nicht behindert, außerdem aber auch der Sand oder Schlamm nicht aus so großer Tiefe wie im Hafen ausgehoben werden darf. Für den Hafen Stolpmünde ist eine Anordnung dieser Art schon seit geraumer Zeit vorgeschlagen worden, weil bei der großen Beschränkung des eigentlichen Hafens die Vertiefung desselben außerordentlich schwierig und ohne wesentliche Störung der Schifffahrt nicht möglich ist. Man hat indessen bisher hiervon noch Abstand nehmen müssen, weil eine feste Brücke vor derjenigen Stelle liegt, welche zur Einrichtung des Bassins sich allein eignet, und weder die Baggermaschinen, noch selbst auch die Prahme diese passiren können. Die localen Verhältnisse veranlassen in diesem Hafen besonders starke Verlandungen, denn einestheils führt die Stolpe große Sandmassen herab, welche sie in dem Hafen niederschlägt, andererseits spült hier aber auch die See, mehr als an einem andern Punkte der Preussischen Küste, feinen Kies an, der vor einigen Jahren die Mündung sogar vollständig gesperrt hatte. Um in solchem Falle die nöthigen Räumungen so gleich vornehmen zu können, sobald die Witterung dieses irgend gestattet, war es nothwendig, daß die Baggerfahrzeuge jederzeit mit Leichtigkeit in den Hafen gebracht werden können, was nicht der Fall sein würde, wenn sie hinter der Brücke beschäftigt wären.

In dem letzterwähnten Hafen, so wie auch in denjenigen bei Colbergermünde und Rügenwaldermünde hat man noch eine eigenthümliche Einrichtung getroffen, um wenigstens einzelne Theile vor Versandungen zu sichern, welche die hindurchgehenden Flüsse verursachen. Man hat nämlich in diesen Häfen stellenweise die Flussbetten verbreitet und daselbst leichte Scheidewände zwischen den eigentlichen Flüssen und den so gebildeten Bassins angebracht. Auf der oberen Seite schliessen sich diese Wände an die Ufer an, abwärts dagegen hören sie im Wasser auf, so daß sich hier die Zugänge zu den Bassins bilden. Man nennt die letzteren Winterhäfen, und ihr eigentlicher Zweck ist auch vorzugsweise nur der,

dafs die Schiffe darin gegen den Eisgang gesichert sein sollen, wiewohl letzterer in den betreffenden Flüssen, die sämmtlich nur in Niederungen sich sammeln, nicht von Erheblichkeit ist.

Fig. 117 zeigt den Hafen von Stolpmünde. Man bemerkt darin neben dem oberen Theile der Stadt auf dem rechten Ufer der Stolpe den Winterhafen, der vor einigen Jahren bedeutend vergrößert ist, und dessen weitere Vergrößerung noch in Aussicht steht. Man kann denselben nicht als eigentliches Hafenbassin ansehen, weil er nicht mit Kais umgeben ist, auf welchen der öffentliche Verkehr sich ausbilden könnte. Er schließt sich allein mit einer Seite an das Ufer an, und selbst hier ist nur ein schmaler Strich Landes, der nur so eben den Zugang bildet, als öffentlicher Weg vorbehalten, während das dahinter liegende Terrain sowol bei diesem Hafen, als auch in den erwähnten beiden andern, Besitzthum von Privatpersonen oder von Communen ist. Die punktirten Linien in der Zeichnung geben die Grenze des zum Hafen gehörigen Terrains an.

Auf derjenigen Seite, wo der Winterhafen an den Fluß sich anschließt, ist er von diesem nur durch eine doppelte Pfahlwand getrennt, wozwischen Senkfaschinen herabgelassen sind, um einen ziemlich dichten Abschluß zu bilden, so dafs der Sand nicht hindurchtreiben kann, und der Winterhafen vor Verflachungen einigermaßen gesichert bleibt. Nichts desto weniger muß derselbe dennoch von Zeit zu Zeit immer ausgebaggert werden. Die erwähnten Pfahlwände tragen aber keine Brücke, so dafs sie selbst zum Uebergange von Personen nicht geeignet sind, und noch weniger zum Verladen von Gütern benutzt werden können. Aus diesen Gründen bilden diese Anlagen keineswegs wirkliche Häfen, die für den Verkehr benutzt werden können, sie sind vielmehr allein, wie auch ihr Name besagt, tiefere Bassins, worin die nicht im Gebrauche befindlichen Schiffe liegen können.

Um einen Hafen vor Verflachungen zu sichern, ist es ferner nothwendig, denselben mit soliden und dicht schließenden Ufereinfassungen zu versehen. Dieses muß wenigstens soweit aufwärts geschehn, als der Wellenschlag der See sich darin fortsetzt. Bei dem fortwährenden Wechsel des Wasserstandes, den dieser veranlaßt, wird der Sand und selbst der Kies, der die Hinterfüllung bildet, und eben so auch die feineren Thontheilchen und anderes Material daraus fortgespült. Am stärksten geschieht dieses

im Niveau des Wassers und einige Fusse darunter. Eine Undichtigkeit der Wand in grösserer Tiefe ist, wenn auch immer nachtheilig, dennoch nicht von so grosser Bedeutung. Man kann sonach die hier befindlichen Ufer keineswegs in der einfachen Weise sichern, wie etwa die Ufer der oberländischen Flüsse, wenn sie von keinem heftigen Strome getroffen werden. Die Anwendung von Flechtzäunen, oder von Senkfaschinen, die man gegen Pfähle lehnt, sind hier ganz unstatthaft, weil sie theils zu vergänglich, vorzugsweise aber, weil sie nicht hinreichend dicht sind, um das Durchfallen der Erde zu verhindern. Selbst Bohlwerke, wenn sie nicht mit einer gut schliessenden Spundwand versehen sind, genügen nicht, und in gleicher Weise darf die Spundwand selbst vor Kai-Mauern nicht fehlen. Wo man nicht in dieser Art für die nöthige Sicherheit gesorgt hat, da wiederholt sich fortwährend, und vorzugsweise nach heftigen Stürmen die Erscheinung, daß die Hinterfüllung mit dem etwa darüber befindlichen Pflaster in der Breite von einer Ruthe und auf mehrere Ruthen Länge einstürzt, und oft bis unter das Wasser versinkt. Man ist alsdann zu immer neuen Nachfüllungen und Ausbesserungen gezwungen, um die Kais nutzbar zu erhalten, und ausserdem stürzen diese Erd- und Sandmassen in den Hafen, die man daraus nur durch Baggern wieder entfernen kann.

Endlich werden auch zuweilen die Verflachungen im Hafen dadurch veranlaßt, daß ähnliche Massen mit den Quellen oder den Strassenrinnen, oder auch wohl durch unmittelbares Einschütten als Kehrlicht in den Hafen kommen. Wenn aber kahle Sandberge, oder unbedeckte Sandschellen neben dem Hafen sich befinden, so treibt auch der Wind grosse Quantitäten hinein. Namentlich pflegt letzteres auf den Lagerplätzen für Holz zu geschehn. Beim Aufschleppen desselben wird die Grasnarbe, die sich vielleicht gebildet hatte, vollständig zerstört, die Fläche lockert sich also fortwährend auf und bleibt ganz kahl, woher der Wind den gelösten Sand leicht faßt und ihn in den Hafen treibt. Die Wirkung ist so gross, daß selbst die aufgesetzten Haufen Scheitholz umstürzen, indem der Wind den Sand darunter fortreibt, und es läßt sich hieraus auf die Masse schliessen, die bei jedem heftigen Sturme in den Hafen stürzt. Es ist gewiss sehr schwierig, in dieser Beziehung eine Aenderung der Verhältnisse herbeizuführen, da die Besitzer solcher Plätze durch die Forderung, daß diese gedeckt werden sollen, sich

in der Benutzung ihres Eigenthums beeinträchtigt und zur Ausführung der betreffenden Anlagen nicht für verpflichtet halten. Der Nachtheil, den sie dem Hafen zufügen, läßt sich aber bei den vielfachen Ursachen der Verflachung selten mit voller Sicherheit nachweisen. Es ist indessen schon ein wesentlicher Gewinn, wenn man, was doch überall der Fall sein sollte, wenigstens einen hinreichend breiten Weg rings um den ganzen Hafen, als zu demselben gehörig, vorbehalten hat. Die Hafenverwaltung muß alsdann für die Befestigung dieses Weges sorgen, und wenn derselbe beim Aufschleppen des Holzes beschädigt wird, so läßt sich die schnelle Wiederherstellung unbedingt fordern. Wenn aber das anstoßende Privat-Grundstück kahle Sandschellen enthält, und von diesen aus, wie sich leicht erkennen läßt, der Sand auf jenen Weg treibt, und denselben theilweise überdeckt und seine Benutzung erschwert, so ist der Eigenthümer von jenen gleichfalls verpflichtet, dieses Erschwerniß alsbald wieder zu beseitigen. Bei gehöriger Aufsicht pflegt es immer zu gelingen, diesen und ähnlichen Uebelständen vorzubeugen, wenn sie auch durch langjährige Vernachlässigung bereits tief eingewurzelt sind. Sehr schädlich ist in solchen Fällen eine gewiß unpassend ausgeübte Humanität, indem man dem Privatmanne die Ausübung seines Gewerbes oder seines Handels-Betriebes nicht erschweren will, wenn auch das öffentliche Interesse dabei augenscheinlich und in hohem Grade leidet.

Auch vom Seestrande pflegen bedeutende Sandmassen seitwärts in den Hafen getrieben zu werden, und es ist nicht nur viel schwieriger, sondern sogar sehr bedenklich, sich gegen diese zu schützen. Schon bei Gelegenheit des Dünenbaues (§ 25) wurde erwähnt, wie bei heftigen Winden, die ungefähr die Richtung des Strandes haben, der Sand auf dem letzteren in Bewegung gesetzt wird, so daß er, wenn er auch keineswegs aus feinen Körnchen besteht, das Ansehn einer dichten Staubwolke gewinnt und soweit durch die Luft geschleudert wird, daß er selbst über die Hafenmündungen fortfliegt. Daß dieses wirklich geschieht, davon kann man sich leicht überzeugen, insofern man über schmalen Mündungen gar keine Unterbrechung, und selbst keine Abschwächung dieser Sandwolken wahrnimmt. Nichts desto weniger fällt doch ein großer Theil derselben in den Hafen und befördert dadurch die Verflachung. Indem diese Erscheinung besonders auffällig ist, so legt

man ihr im Allgemeinen auch vorzugsweise große Bedeutung bei, und gewöhnlich dringen nicht nur die Baubeamten, sondern auch die Bewohner der Hafenorte darauf, man solle die Graspflanzungen neben dem Hafen, und zwar an der Seite, wo diese Verwehungen vorzugsweise sich bilden, nach Möglichkeit ausdehnen. Arbeiten dieser Art haben gemeinbin einen augenscheinlichen Erfolg. Die Sandablagerungen pflegen vor den westlichen Molen schon von selbst sich stark auszubilden, die Bepflanzung mit Strandhafer gedeiht also in der Regel ganz nach Wunsch. Derselbe fängt den antreibenden Sand auf, wird durch ihn überdeckt, und wächst im nächsten Jahre um so kräftiger hindurch, so daß er wieder in gleicher Weise wirksam ist und sonach in wenig Jahren neben dem Hafen einen hohen Sandberg oder eine Düne bildet. Die dauernde Befestigung derselben wird indessen wegen ihrer Höhe und ihrer steilen Dossirung an der Hafenseite überaus schwierig. Sobald man aber solche vernachlässigt, so bricht die neue Düne schnell ab, der Wind bildet Rinnen darin und der ganze Hügel stürzt vielleicht in der kürzesten Zeit in den Hafen. Der Sand fliegt alsdann nicht mehr zum Theil darüber fort, wie es auf dem niedrigen Strande geschehn wäre, weil die hohe Ablagerung die dahinter befindliche Wasseroberfläche vor dem Winde schützt, und die Verflachung des Hafens ist schließlich viel bedeutender, als wenn man den Sandflug, wie er sich ursprünglich bildete, gar nicht gestört hätte.

Bei diesem Verfahren tritt indessen noch ein anderer und zwar ein viel größerer Uebelstand ein. Die Erhöhung des Strandes an derjenigen Stelle, wo Sandablagerungen sich schon von selbst bilden, hat wieder die Verbreitung des Strandes zur Folge. Letzterer rückt also seewärts vor, und es verschwindet die Bucht, welche der Hafendamm ursprünglich darstellte. Diejenigen Sandmassen, welche bei starkem Wellenschlage auf dem Strande auf und ab getrieben, und zugleich von den Wellen oder der Küstenströmung fortgeführt werden, erreichen also auf solchem Wege die Hafenmündung, wo sie bald einigen Schutz finden und diese sperren. Unter den Verhältnissen, wie sie an unserer Ostsee-Küste sich darstellen, ist die Richtung des heftigsten und des am häufigsten eintretenden Sandfluges dieselbe, der auch der Küstenstrom gewöhnlich folgt. Der Versuch, den fliegenden Sand unmittelbar vor dem Hafen auf dem Strande aufzufangen, vereitelt also den Zweck der

weit vortretenden Hafenmole und befördert wesentlich die Verflachung der Mündung, die, wie bereits erwähnt, viel schwieriger zu beseitigen ist, als die Verflachungen im Innern des Hafens. Ueberdies ist die Masse des Sandes, die vom Strande aus in den Hafen geführt wird, auch gewiß nicht so groß, als man gewöhnlich glaubt. Die Staubwolke, die man bei heftigem Winde in der Richtung des Strandes sich erheben sieht, reicht über den Hafen fort, also stürzt keineswegs aller Sand, den sie enthält, in den letzteren herab, und wenn der Strom ausgeht, so führt derselbe die Körnchen, die ihn treffen, der See zu. Als der Swinemünder Hafen vor 40 Jahren gebaut wurde, existirte bereits die Joachims-Fläche zur Seite der westlichen Mole und zwar schon in bedeutender Höhe, während sie auch gegenwärtig noch überall einige Fusse unter Wasser liegt. Wenn sie aber vor mehreren Jahren sich merklich erhöhte, so rührte dieses ohne Zweifel von den beiden sehr einfach construirten und daher nur mit engen Durchfluß-Oeffnungen versehenen Brücken her, die Behufs anderer Bauten darüber geführt wurden, und mehrere Jahre hindurch bestanden. Sie schwächten die Strömung auf dieser Fläche und gaben daher Veranlassung zu ihrer Erhöhung, die gerade in jener Zeit sehr auffallend gewesen sein soll.

Ohne Zweifel ist es sehr zweckmässig, den Sand, soweit er ein Spiel des Windes ist, auf dem Strande selbst aufzufangen und festzulegen, damit er nicht in den Hafen fliegt, dieses muß aber in solcher Entfernung von dem letzteren geschehn, daß dadurch die Bucht vor derjenigen Mole, die vom Küstenstrome getroffen wird, sich nicht abflacht oder ganz verschwindet. Dieselbe ist vielmehr für die Offenerhaltung der Hafenmündung von der höchsten Wichtigkeit, weil sie Veranlassung giebt, daß der Küstenstrom zugleich mit dem Sande, den er mit sich führt, die Richtung nach dem Meere annimmt, also den Sand an einer Stelle ablagert, wo er dem vollen Angriffe des Wassers ausgesetzt, und daher leichter fortgetrieben wird.

Die Verflachungen im innern Hafen kann man, wie bereits erwähnt, durch Baggern beseitigen, und in den drei Häfen in Hinter-Pommern werden selbst die dort benutzten Pferdebagger regelmäßig bis nahe an die Mündung im Betriebe erhalten, noch weniger hindert aber einige Wellenbewegung den Gang der Dampfbagger.

Der Grund, weshalb man letztere hier nicht benutzen kann, während sie doch in unsern grösseren Häfen mit vollständigem Erfolge beinahe ausschliesslich Anwendung finden, liegt allein darin, daß diese Häfen nicht die hinreichende Breite haben. Der kurze Pferdebagger läßt sich ohne wesentliche Störung der Schifffahrt überall hinlegen, wo er gebraucht wird, der lange Dampfbagger mit den grossen Prahmen auf einer oder auf beiden Seiten würde dagegen den ganzen Hafen stellenweise sperren.

Ein anderer Umstand, der die kräftige Baggerung vielfach behindert, ist die Schwierigkeit, das gehobene Material zu verkarren, oder es in anderer Weise zu beseitigen. Namentlich ist dieses wieder bei Stolpmünde der Fall, wo die hohen Dünen auf beiden Seiten und vorzugsweise auf der westlichen bis nahe an den Hafen hinantreten, und in dem engen Thale des Stolpe-Flusses wenig Gelegenheit sich findet, den ausgebaggerten sterilen Sand abzulagern. Man sieht sich gezwungen, ihn auf die Dünen zu schaffen und mit ihm die Vertiefungen in denselben auszufüllen, wobei aber immer zugleich auf seine Bepflanzung Bedacht genommen werden muß, und auf diese Art die Arbeit sich noch mehr vertheuert.

Die Kosten für die eigentliche Baggerung sind jedesmal bedeutend geringer, als diejenigen, welche die Fortschaffung des gehobenen Materials verursacht, wenn man nicht etwa Gelegenheit hat, dasselbe unmittelbar aus den Prahmen in tieferes Wasser zu verstürzen. In den Seehäfen pflegt sich hierzu immer Gelegenheit zu bieten, und man darf nicht annehmen, daß der aufgeworfene Sand wieder in den Hafen zurückkommen, noch auch sonst das Fahrwasser verflachen oder verengen werde, wenn man ihn in einiger Entfernung und zwar in der Richtung des Küstenstromes in die See versenkt. Es pflegt freilich auch in diesem Falle vielfach die Vermuthung ausgesprochen zu werden, daß der Sand wieder zurückkehre, und man daher dieselbe Masse immer von Neuem aushebe, doch fehlt dafür jede Begründung, und wenn man die endlosen Massen betrachtet, welche den Strand bilden und von diesem aus längs unserer ganzen Küste bis zu grosser Tiefe sich fortsetzen, so kann wohl unmöglich durch die vergleichungsweise nur sehr geringe hinzugefügte Quantität, die sich überdiß augenblicklich eben so fest, wie der andre Sand ablagert, also den letzteren der ferneren Bewegung entzieht, eine Störung der natürlichen Verhältnisse

veranlaßt werden, und jedenfalls genügt in dieser Beziehung schon vollständig die Vorsicht, wenn man die Ladungen in derjenigen Richtung abführt, in welcher die Küstenströmung sich gewöhnlich bewegt.

Dieses Verfahren ist indessen nur zu wählen, wenn man große Prahme benutzt, die auch bei mäßigem Wellenschlage noch sicher fahren können, und zu mehreren, gewöhnlich zu sechs, von einem kräftigen Dampfboote bugsirt werden. Hieraus folgt aber wieder, daß der Hafen geräumig und hinreichend breit sein muß, weil neben dem Dampfbagger diese großen Prahme nebst dem Bugsirboote ohne Störung der Schifffahrt sich sonst nicht frei bewegen können.

Außer den erwähnten Verflachungen treten solche auch in der Mündung des Hafens und sogar vor derselben ein, diese sind aber vorzugsweise nachtheilig, weil sie theils bei anhaltenden Stürmen sehr schnell und in großer Höhe sich auszubilden pflegen, theils aber, weil sie nur selten und zwar nur unter besonders günstigen Witterungs-Verhältnissen durch Baggerung beseitigt werden können, also oft eine lange Zeit vergeht, bevor sich hierzu Gelegenheit bietet. Verflachungen dieser Art kommen vor denjenigen Häfen nicht vor, welche zwischen Felsenufern liegen, die aus großer Tiefe emporsteigen, wo also der eigentliche Strand ganz fehlt, und keine Sand- und Kiesmassen von den aufschlagenden Wellen in Bewegung gesetzt werden, so daß sie der Küstenströmung mit Leichtigkeit folgen können. Im südlichen Frankreich wiederholt sich vielfach ein solches günstiges Verhältniß. Bei Port Vendre, Marseille, la Ciotat, Cassis, Toulon und andern Häfen fehlt der zusammenhängende Strand ganz, und nur in besonders geschützten Buchten bemerkt man Spuren desselben, indem sich hier Kies-Ablagerungen über Wasser zeigen. Wenn aber der Kies in größerer Tiefe auch hier nicht fehlt, so ist derselbe viel weniger nachtheilig, weil in der Tiefe die Kraft der Wellen sich schwächt, also die einzelnen Körnchen nur wenig oder gar nicht bewegt werden, und demnach die Strömung, die an sich zu schwach ist, um sie fortzuführen, so lange sie auf dem Grunde liegen, keinen oder nur einen sehr geringen Einfluß auf sie ausübt.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Hafen an einer Küste liegt, vor der ein vollständig ausgebildeter Strand sich hinzieht, und am nachtheiligsten ist es alsdann, wenn der stärk-

ste Küstenstrom dieselbe Richtung hat, welche die des herrschenden Windes ist. Dieses ist der Fall eben sowol an den Preussischen Ostsee-Häfen, wie an den Englischen und Französischen Häfen zu beiden Seiten des Canales. Der herrschende Wind und Küstenstrom ist von Westen nach Osten gerichtet. Indem die Wellen bei diesem Winde auflaufen, so stoßen sie die einzelnen Sand- oder Kieskörnchen in dieser Richtung, die beim Abfließen des aufgetriebenen Wassers normal gegen den Strand zurückfallen. Diese Bewegung wird aber noch wesentlich durch die Küstenströmung verstärkt.


In solcher Weise rückt die Masse des bewegten Materials immer weiter, und sobald sie einer Oeffnung begegnet, die stehendes Wasser enthält, so bleibt sie am Ende desjenigen Strandes liegen, den sie bisher verfolgt hatte, sie dehnt denselben also weiter aus, und sperrt schliesslich die ganze Oeffnung. Dieses zeigen die Erscheinungen an den Mündungen kleiner Wasserläufe, die sich unmittelbar in das Meer ergiessen (§ 12). Die Entstehung der Nehrungen erklärt sich auch in dieser Weise, indem die Strömung nicht den weit zurücktretenden Ufern der Buchten folgt, vielmehr sich direct gegen einzelne, am weitesten vortretende Uferecken richtet. Die Köpfe der Hafendämme bilden solche, und so geschieht es, daß die Küstenströmung und mit derselben auch der Strand sich denselben zuwendet, und die Bucht, welche früher vor dem Hafendamme stattfand, oft in kurzer Zeit sich anfüllt. Diese Erscheinung bemerkt man jedesmal, wenn nicht ein kräftiger Strom aus dem Hafen tritt. Ein solcher lenkt den Küstenstrom ab, und indem er ihn in der Richtung der Hafenmündung gegen das offene Meer wendet, so trägt diese Ablenkung wesentlich zur Erhaltung jener Bucht bei, und die Sandablagerung setzt sich zur Seite des Fahrwassers in der Richtung desselben nach dem offenen Meere fort. Vor dem Swinemünder Hafen Fig. 101 zeigt sich diese Erscheinung sehr deutlich.

Falls eine solche Ablenkung des Küstenstromes nicht stattgefunden, vielmehr die ganze Bucht sich zugelegt hat, und der Strand in gerader oder flach gekrümmter Linie die Enden der Hafendämme erreicht, so geht nunmehr die weitere Fortsetzung der Strandbildung, also die Verschließung des Hafens rasch vor sich. Daß dieselbe in der beschriebenen Art wirklich erfolgt, ergibt sich daraus,

daß zuerst an der innern Seite des westlichen Kopfes Ablagerungen sich zeigen, die bald weit vortretende Zungen bilden, deren Umfahrung besonders in engen Hafenmündungen sehr beschwerlich ist. Wenn aber der westliche Sturm lange genug anhält, so schließt sich die Mündung vollständig und die Schifffahrt wird ganz unterbrochen.

Diese höchst nachtheiligen Erfolge treten vorzugsweise bei westlichen Stürmen ein, wobei auch die Küstenströmung am stärksten wird. Sowol diese, als auch die Wellen, setzen alsdann den Sand oder Kies am meisten in Bewegung, und treiben die größten Massen desselben nach Osten. Nimmt der Wind dagegen eine mehr nördliche Richtung an, trifft er also stärker das Ufer, wie auch die Hafenmündung, so wird nicht nur die Bewegung der einzelnen Körnchen wesentlich verzögert, und sie entfernen sich weniger von der Stelle des Strandes, wo sie sich befinden, sondern es wird auch eine andere Bedingung, die zur Schließung der Buchten in der beschriebenen Weise nothwendig war, nicht mehr erfüllt. Es hört nämlich die Ruhe des Wassers auf, und die Körnchen, die noch durch die Küstenströmung herbeigeführt werden, bleiben nicht auf dem Boden liegen, vielmehr werden sie von den stark einlaufenden Wellen schwebend erhalten, und folgen daher selbst schwächeren ein- oder ausgehenden Strömungen. Hiermit hängt ohne Zweifel die Erscheinung zusammen, daß derjenige Theil eines Hafens, der unmittelbar vor der Mündung zwischen den beiden Dämmen sich befindet, gemeinhin die volle Tiefe behält, wenn auch sowol die Mündung, als der hintere Theil des Hafens sich stark verflachen. Eine Ausnahme hiervon bemerkt man nur, wenn die beiderseitigen Molen übermächtig weit von einander entfernt sind, wie etwa beim Swinemünder Hafen, aber selbst in diesem erhält sich die Tiefe gleichfalls in derjenigen Richtung, welche die einlaufenden Wellen vorzugsweise verfolgen.

Man darf indessen nicht annehmen, daß der von der Seeseite aus eintreibende Sand nur in der Mündung des Hafens oder neben derselben liegen bleibt. Er wird bei heftigem Seewinde von den Wellen schwebend erhalten, und bei kräftigem eingehenden Strome wird er von dem letzteren erfaßt und weit aufwärts geführt. Die Sandablagerungen vor der oberen Mündung der Swine, die sich am Fusse der Lebbiner Berge, also schon im Haffe bilden, und hier



periodisch immer gebaggert werden müssen, weil sie das Fahrwasser sperren, sind nicht etwa von diesen Bergen herabgestürzt oder aus dem Binnenlande herbeigeführt, sie bestehn vielmehr aus Seesand, wie sich aus den darin befindlichen Muscheln ergibt. Der Seesand wird also hier, durch das ziemlich beschränkte Bette der Swine, in der sich bei anschwellender See eine starke eingehende Strömung bildet, beinahe 3 Deutsche Meilen weit heraufgeführt. Auch bei Pillau findet etwas Aehnliches statt, denn die ausgedehnten Sandbänke auf der östlichen Seite des Tiefes, also im Haffe, die erst in den letzten Jahrhunderten entstanden sind, und die frühere directe Fahrt nach Königsberg vollständig gesperrt haben, bestehn gleichfalls aus Seesand, der bei westlichen Stürmen eingetrieben ist. Der gröbere Kies, der an manchen Stellen, wie zum Beispiel neben Stolpmünde, vorzugsweise den Strand bildet, ist zu schwer, als daß er der eingehenden Strömung noch folgen könnte. Sobald die Wellen nicht mehr heftig auf ihn einwirken, sinkt er zu Boden, und bei den Baggerungen im Innern dieses Hafens werden Kieskörnchen nur vereinzelt gefunden, selbst diese gehören aber immer zu den kleineren.

Um den erwähnten Verflachungen der Mündungen vorzubeugen, wo solche nach der Gestaltung der Meeresküste zu besorgen sind, giebt es nun kein wirksameres Mittel, als die Hindurchführung eines kräftigen Stromes durch den Hafen. Wo starker Fluthwechsel statt findet, läßt sich ein solcher meist künstlich darstellen, indem ausgedehnte Bassins zur Seite oder hinter dem Hafen mit dem Hochwasser gefüllt, und letzteres zur Zeit des nächsten Niedrigwassers durch recht große Abflußöffnungen ausgelassen wird. Anders verhält es sich in den Häfen an der Ostsee und am Mittelländischen Meere, aber auch hier kann man zuweilen die localen Verhältnisse vortheilhaft benutzen, und dieselben durch manche bauliche Einrichtungen und Ausführungen noch wesentlich verbessern. Es wird im Folgenden hiervon ausführlicher die Rede sein. Hier mag nur erwähnt werden, daß bei der zu Zeiten vorkommenden Erhebung oder Senkung des Wasserstandes der See durch den Wind, Einströmung und Ausströmung im Hafen erfolgt, und daß man diese in der Mündung verstärkt, wenn man die letztere verengt, oder wenn man, wie bei Swinemünde geschehn ist, durch Anbringung einer Krümmung die Strömung möglichst concentrirt. Läßt sich

aber ein Strom oder ein Fluß durch den Hafen hindurch leiten, so wird man auch diesen zur Verstärkung der Strömung benutzen, und die Wirkung wird immer um so vollständiger sein, je mehr Wasser er abführt. Von besonderer Wichtigkeit ist es auch, wenn in der Nähe des Hafens ein ausgedehnter Binnensee sich befindet, der durch den Hafen mit dem Meere in Verbindung steht. Der Wasserspiegel desselben erhebt sich alsdann, oder senkt sich, sobald das Meer durch anhaltende Winde oder Stürme anschwillt oder herabsinkt, und die Ausgleichung beider erfolgt durch den Hafen. Es bildet sich also beim Beginne des Sturmes eine Einströmung, die gewöhnlich bedeutend stärker, als die spätere Ausströmung ist, und während dieser Zeit wird der in die Mündung eintreibende Sand entweder durch den ganzen Hafen hindurchgeführt, oder doch so weit aufwärts in demselben abgelagert, daß er bequem durch Baggern beseitigt werden kann. Demnächst tritt freilich eine Periode ein, wo das Steigen der See und mit demselben auch die Einströmung aufhört, oder diese wird dadurch unterbrochen, daß das Meer bis zum Niveau des noch nicht vollständig gefüllten Binnensees herabsinkt. In dieser Zeit erfolgen die Niederschläge in gleicher Weise, als wenn der Hafen an seinem obern Ende ganz abgeschlossen wäre, doch die Dauer dieser Periode ist meist nicht groß, und um so kürzer, je ausgedehnter der Binnensee ist. Es tritt nämlich alsdann der Fall ein, daß derselbe das Niveau des höchsten Wasserstandes des Meeres gar nicht erreicht, die eingehende Strömung also fort dauert, während das Meer sich weder erhebt noch senkt, und sonach sie erst aufhört, wenn letzteres schon wieder im Fallen begriffen ist. Die Strömung verändert unter diesen Umständen in sehr kurzer Zwischenzeit ihre Richtung, und nunmehr beginnt der durch die Binnenzuflüsse verstärkte und lange anhaltende ausgehende Strom, der vorzugsweise die Hafenmündung und mit dieser zugleich auch das vor derselben belegene Fahrwasser bis zur offenen See aufräumt.

Ein anderer Umstand, der gleichfalls für die Offenerhaltung der Hafenmündungen von wesentlichem Einflusse ist, betrifft die Beschaffenheit des Meeresufers und zwar an derjenigen Seite, von wo die Küstenströmung den Hafen trifft. Dieses ist für unsere Häfen in Pommern die westliche Seite. Es ist bereits früher (§ 23) erwähnt, wie vielfach man an dem Canale bemüht gewesen ist, durch

Sicherung der Ufer und durch Auffangen des vorbeitreibenden Materials die Kiesmasse zu vermindern, welche die Häfen zu sperren droht. Wenn dabei zuweilen auch Mißgriffe vorgekommen sind, so hat die Erfahrung doch die großen Erfolge solcher Anlagen bereits aufser Zweifel gestellt. Ganz denselben Zweck verfolgt auch der Dünenbau, der also in Betreff der Offenerhaltung der Häfen von der höchsten Wichtigkeit ist.

Man hat in einzelnen Fällen und gewifs nicht ohne Erfolg auch ein mechanisches Mittel angewendet, um das Fahrwasser vor dem Hafen wieder zu eröffnen, wenn dieses stellenweise so verflacht war, daß die Schiffe nicht aus- und eingebracht werden konnten. Dieses ist die Auflockerung des Grundes. Im zweiten Theile dieses Handbuches (§ 91) ist hiervon ausführlich die Rede gewesen. Dasselbe ist augenscheinlich nur wirksam, wenn eine kräftige Strömung gerade statt findet. Es beruht aber darauf, daß die letztere den gelockerten Sand sogleich fortreiben und außerdem auch die Vertiefung mit befördern muß. Wenn eine Bank von ziemlich gleicher Höhe das Fahrwasser sperrt, so suche man diejenige Stelle in ihr aus, welche der Richtung des Stromes am besten entspricht. Hat man auch nur eine mäfsige Vertiefung hier dargestellt, so concentrirt sich daselbst sogleich die Strömung, und die weitere Arbeit wird alsdann um so erfolgreicher. Gemeinhin läßt man Anker, Dragger, auch wohl schwere Ketten und andre Eisenmassen, welche den Boden kräftig angreifen, durch Dampfböte oder andre Fahrzeuge darüber schleppen. Dabei kann jedoch immer nur ein kleiner Theil der Zeit auf die Beseitigung der höchsten Untiefen, worauf es vorzugsweise ankommt, verwendet werden. Passender dürfte es daher sein, das Fahrzeug über diejenige Untiefe, die man zunächst durchbrechen will, vor zwei Anker zu legen, und durch Hin- und Herbewegen eines Rechens zur Seite des Schiffes den Grund anzugreifen. Die auffallenden Erfolge, die ich auf diese Weise mittelst eines sehr einfachen Apparates erreichte, habe ich an der angeführten Stelle dieses Handbuches beschrieben. In neuster Zeit hat man auch in Nord-Amerika wieder grofse Rechen, die jedoch von Dampfböten geschleppt werden, mit Erfolg versucht. Auch in den Hafenmündungen selbst dürften Arbeiten dieser Art mit Nutzen anzuwenden sein.

Nach den noch vielfach herrschenden Ansichten wird indessen


von allen diesen Mitteln zur Offenerhaltung der Hafenmündungen gewöhnlich kein Gebrauch gemacht. Sobald die Hafenmündung nicht mehr die hinreichende Tiefe hat, so verlängert man die Molen bis zu der Stelle, wo die gewünschte Tiefe sich vorfindet. Wenn aber gegen solchen Vorschlag das Bedenken erhoben wird, daß die Anlage, der sehr großen Kosten ohnerachtet, doch keinen dauernden Erfolg verspricht, so versucht man nachzuweisen, daß an der Stelle, wohin man die Hafenmündung verlegen will, die Tiefe seit Menschengedenken sich unverändert erhalten habe. Der Einfluß des beabsichtigten Baues auf die Gestaltung des Ufers wird also unbeachtet gelassen, und eben so die großen Uebelstände, welche die Verlängerung der Hafenmündung mit sich führt. Der für die eigentlichen Zwecke des Hafens ganz nutzlose Raum wird vergrößert, und mit demselben die Länge des engen Fahrwassers, das jedes Schiff durchlaufen muß, bevor es in den Hafen oder in die offene See gelangt. Dieser letzte Umstand ist um so wichtiger, als ein Begegnen hier meist vermieden werden muß, und nur bei günstigen Winden ein Durchsegeln statt finden kann, in andern Fällen aber das Schiff hier geschleppt oder auch wohl hindurch gewarpt werden muß. Ferner vermindert sich durch die größere Länge des Hafens das absolute Gefälle und mit demselben die Strömung, welche seine Mündung und das davor liegende Fahrwasser allein offen erhalten kann. Endlich sind die Hafendämme, wenn sie auch aus Steinen erbaut werden, doch keineswegs Anlagen, die ohne Reparatur sich dauernd erhalten, es steigern sich vielmehr die jährlichen Unterhaltungskosten mit der Verlängerung der Hafendämme sehr erheblich.

Alle diese Umstände müßten wohl den Baumeister, der die wirkliche Verbesserung des Hafens beabsichtigt, sehr bedenklich machen, eine Verlängerung der Molen vorzuschlagen oder auszuführen, dennoch geschieht dieses fast immer, und diese Rücksichtslosigkeit erklärt sich dadurch, daß man allein das augenblickliche und nächste Bedürfnis in Betracht zieht, die späteren Folgen aber, die wahrscheinlich erst nach einer Reihe von Jahren sich fühlbar machen, unbeachtet läßt, weil ihre Beseitigung voraussichtlich dem Nachfolger im Amte zufallen wird. Sehr wichtig ist es, daß man endlich angefangen hat, andre Mittel zur Verbesserung der Häfen zur Ausführung zu bringen. Bei Calais und Boulogne ist dieses

geschehn, obwohl die ersten Vorschläge sich auch hier wieder auf die Verlängerung der Hafendämme bezogen. Die dortigen Ingenieure machten aber auf die grossen Uebelstände eines solchen Verfahrens aufmerksam, und es gelang ihnen, die nöthigen Verbesserungen in andrer Weise herbeizuführen. Im Folgenden wird hiervon ausführlicher die Rede sein.

Endlich wäre noch zu erwähnen, daß in den Englischen Schriften über manche Häfen mehrfach die Frage behandelt wird, wie eine Hafenmündung anzuordnen sei, damit die einzelnen Kiesel, die von den Wellen und vom Strome herbeigeführt werden, nicht in die Mündung, sondern unmittelbar hinter dieselbe gelangen, so daß sie ihren Weg fortsetzen können, ohne daß der Hafen durch sie gesperrt wird. Auf diese Untersuchungen sind auch verschiedene Vorschläge gegründet, deren nähere Mittheilung indessen entbehrlich erscheint, insofern dabei das wirkliche Sachverhältniß nicht richtig und nicht vollständig aufgefaßt worden ist, vielmehr nur diejenige Bewegung der Kiesel betrachtet wird, in welche dieselben vor einem Strande, der sich ohne Unterbrechung in gerader Richtung hinzieht, durch die schräge auflaufenden Wellen versetzt werden. *) Man hat dabei auch den Hafen von Kingstown in Betracht gezogen, und insofern in demselben keine Verflachungen vorkommen, während solche in dem Liffey, in den er mündet, doch sehr stark sind, so hat man vorausgesetzt, daß die hier getroffene Anordnung der Mündung die gesuchte Lösung der Aufgabe enthalte. Wenn sich indessen die Tiefe in diesem Hafen sehr vollständig erhält, so läßt sich dieses sehr einfach dadurch erklären, daß nur reines Seewasser hineintritt. Schon in der Mündung mißt die Tiefe beim niedrigsten Wasserstande 25 Fuß, in südlicher Richtung nimmt sie aber sehr schnell noch mehr zu, und von hier tritt die Fluth aus dem Irischen Canale in den Liffey und in den Hafen. Letzterer befindet sich also in gleichen Verhältnissen, wie Felsenbuchten, die tiefes Wasser vor sich haben, und sonach durch die Küstenströmung nicht verflacht werden. Die Bucht des Liffey nimmt dagegen den Fluß dieses Namens auf, der ihr Sand und thonige Theilchen in großer Menge zuführt, und dadurch so viele Untiefen gebildet hat, daß sich nur ein schmales Fahrwasser bis Dublin hinzieht.

*) W. B. Pritchard, a treatise on harbours. Vol. I. London 1844.



erfolgt durch Mauern oder Bohlwerke, die sich von
 strandes wenig unterscheiden, deren geringe Ab-
 aber später beschrieben werden sollen. Hier
 schließungen der Häfen die Rede, welche
 in Meere und gewöhnlich sogar in demselben
 nennt sie Hafendämme oder Molen. Ihre
 die eine sehr specielle Beschreibung erfordert, bleibt
 unberührt, es soll vielmehr zunächst nur die Anordnung
 ämme mit Rücksicht auf die verschiedenen dabei zu stellenden
 Anforderungen erörtert werden.

Die Hafendämme haben den Zweck, die im Hafen befindli-
 chen Schiffe gegen den Wellenschlag zu sichern, der in der Nähe
 der Küste immer besonders heftig ist, außerdem sollen sie auch die
 Verflachungen verhindern, welche in jeder Oeffnung des Strandes
 sich zu zeigen pflegen, wenn auch Ströme, oder Flüsse und Bäche
 durch dieselbe in das Meer ausmünden. Damit endlich der von den
 Hafendämmen umschlossene Raum möglichst nutzbar werde, und die
 Schiffe wenigstens bei günstiger Witterung darin liegen und befrach-
 tet oder entladen werden können, so dürfen auf der innern Seite
 keine flachen Dossirungen vortreten, auch müssen die Dämme be-
 quem zugänglich sein, und dieses nicht nur bei ruhiger See,
 sondern auch bei heftigen Stürmen. Man erreicht durch Erfüllung
 dieser letzten Bedingung noch den sehr großen Gewinn, daß man
 den aus- und einlaufenden Schiffen in vielfacher Beziehung Hülfe
 leisten kann.

In den Englischen und Französischen Häfen sind diese Dämme
 gewöhnlich so eingerichtet, daß man beim stärksten Seegange noch
 zu ihren Köpfen gelangen, und mittelst der darauf stehenden kräf-
 tigen Winden oder durch unmittelbares Anziehn der ausgebrachten
 Seile den Schiffen zu Hülfe kommen, oder äußersten Falles, wenn
 das Schiff am Hafenkopfe zerschellen sollte, die Besatzung retten
 kann. Diese Dämme sind freilich nicht so hoch, daß sie von den
 Wellen nicht erreicht würden, in diesem Falle dürften sie sogar we-
 gen der großen Höhe ihren Zweck vollständig verfehlen, dagegen
 befinden sich an ihren äußern Seiten starke Brustmauern, meist
 etwa 6 Fuß hoch, über welche die Wellen wohl herüberschlagen,
 aber dennoch nicht unmittelbar die dahinter stehenden Personen

Das Wasser dieser Bucht, das zur Zeit der Ebbe unmittelbar neben der Hafenmündung vorbeifließt, ist auch sehr trübe und unrein, es tritt aber nicht in den Hafen, verursacht also in demselben auch keine Verflachung, weil in derselben Zeit, wo der Liffey ausströmt, das Wasser aus dem Hafen gleichfalls abfließt. Die Richtung der Mündung verursacht also nicht dieses günstige Resultat, vielmehr nur der Umstand, daß der Hafen stets von reinem Wasser gefüllt wird.

Wenn dagegen bei starkem Fluthwechsel das in den Vorhafen eintretende Fluthwasser nicht unmittelbar aus der offenen See kommt, sondern über ausgedehnte Bänke von Schlamm und Erde oder auch über Watten und früheres Marschland geflossen ist, so ist es durch so starke Beimengung fremder Stoffe verunreinigt, daß es eine dunkle Färbung annimmt. Diese Massen läßt es in dem Vorhafen fallen und verflacht dadurch denselben so sehr, daß periodische Baggerungen in kurzen Zwischenzeiten nothwendig werden. Die Verflachung stellt sich aber noch in viel größerem Maasse ein, wenn durch die Hafenmündung nicht nur der Vorhafen, sondern auch das Spülbassin mit Wasser gefüllt wird, wie dieses meist zu geschehn pflegt. In dem weiten Vorhafen ist nämlich die Durchströmung so schwach, daß schon hier die meisten erdigen Stoffe zu Boden sinken und nur ein kleiner Theil derselben bis in das Spülbassin gelangt, aus dem die Niederschläge leichter, als aus dem Vorhafen wieder beseitigt werden können. Gewiß trägt dieser Umstand wesentlich dazu bei, daß in manchen Vorhäfen die Spülungen so wenig wirksam sind, und es ist daher vortheilhaft, wenn man durch eine besondere Einlaßschleuse das Spülbassin mit dem äußeren Wasser in Verbindung setzen, und es unmittelbar aus diesem füllen kann, ohne daß der Zufluß durch den Vorhafen hineintritt. In dem Projecte zur Verbesserung des Hafens von Cuxhaven war diese sehr wichtige Aenderung berücksichtigt worden.

§. 40.

Hafendämme.

Die Begrenzung der verschiedenen Hafen-Bassins gegen bereits bestehende Ufer oder Wasserflächen, die dem Wellenschlage nicht

sind, erfolgt durch Mauern oder Bohlwerke, die sich von des Binnenlandes wenig unterscheiden, deren geringe Abn diesen aber später beschrieben werden sollen. Hier von diesen Umschließungen der Häfen die Rede, welche dem Meere und gewöhnlich sogar in demselben . . . nennt sie Hafendämme oder Molen. Ihre , die eine sehr specielle Beschreibung erfordert, bleibt noch unberührt, es soll vielmehr zunächst nur die Anordnung der Dämme mit Rücksicht auf die verschiedenen dabei zu stellenden Anforderungen erörtert werden.

Die Hafendämme haben den Zweck, die im Hafen befindlichen Schiffe gegen den Wellenschlag zu sichern, der in der Nähe der Küste immer besonders heftig ist, außerdem sollen sie auch die Verflachungen verhindern, welche in jeder Oeffnung des Strandes sich zu zeigen pflegen, wenn auch Ströme, oder Flüsse und Bäche durch dieselbe in das Meer ausmünden. Damit endlich der von den Hafendämmen umschlossene Raum möglichst nutzbar werde, und die Schiffe wenigstens bei günstiger Witterung darin liegen und befrachtet oder entladen werden können, so dürfen auf der innern Seite keine flachen Dossirungen vortreten, auch müssen die Dämme bequem zugänglich sein, und dieses nicht nur bei ruhiger See, sondern auch bei heftigen Stürmen. Man erreicht durch Erfüllung dieser letzten Bedingung noch den sehr grossen Gewinn, daß man den aus- und einlaufenden Schiffen in vielfacher Beziehung Hülfe leisten kann.

In den Englischen und Französischen Häfen sind diese Dämme gewöhnlich so eingerichtet, daß man beim stärksten Seegange noch zu ihren Köpfen gelangen, und mittelst der darauf stehenden kräftigen Winden oder durch unmittelbares Anziehen der ausgebrachten Tawe den Schiffen zu Hülfe kommen, oder äußersten Falles, wenn das Schiff am Hafenkopfe zerschellen sollte, die Besatzung retten kann. Diese Dämme sind freilich nicht so hoch, daß sie von den Wellen nicht erreicht würden, in diesem Falle dürften sie sogar wegen der grossen Höhe ihren Zweck vollständig verfehlen, dagegen befinden sich an ihren äußern Seiten starke Brustmauern, meist etwa 6 Fufs hoch, über welche die Wellen wohl herüberschlagen, aber dennoch nicht unmittelbar die dahinter stehenden Personen

mit voller Kraft treffen, woher diese nicht der Gefahr ausgesetzt sind, durch sie fortgespült zu werden.

Bei der Anordnung unserer Hafendämme sind diese Vortheile nicht zu erreichen. Die östliche Mole des Swinemünder Hafens ist ganz ungeschützt. Die Unregelmäßigkeit ihrer Oberfläche macht es schon beschwerlich, sie bei ruhiger See zu betreten, und diese Schwierigkeit nimmt in hohem Grade zu, wenn einzelne Wellen die Krone so eben erreichen. Erheben sich diese aber noch mehr, so ist das Betreten des Dammes mit augenscheinlicher Gefahr verbunden. Es ist schon früher (§ 5) erwähnt worden, daß der Wärter des kleinen Leuchthurmes auf dem Kopfe dieser Mole vor wenig Jahren drei Tage hindurch nicht nach dem Lande gelangen konnte, wiewohl der Mangel an Proviant hierzu dringende Veranlassung gab. Dazu kommt aber noch, daß nach der bei uns üblichen Constructions-Art die äußern flachen Steinböschungen ein Spiel der Wellen sind, und große Blöcke von denselben auf die Krone und über diese fort in den Hafen geworfen werden. Das Betreten des Dammes zur Zeit des Sturmes ist aber im Schiffahrtsinteresse hier auch ganz entbehrlich, weil man den Schiffen doch keine Hülfe leisten kann. Die Böschungen auf der innern, oder der Hafenseite verhindern nämlich jede Annäherung, und zwar um so mehr, als sie sich ganz unregelmäßig ausgebildet haben, und der Schiffer sich von der Mole eben so sorgfältig fern halten muß, wie von einem Felsriff, dessen Ausdehnung unter Wasser er nicht genau kennt.

Bei den Hafendämmen der drei Häfen in Hinter-Pommern hat man, wie bereits § 38 erwähnt, durch Pfahlwände oder sogenannte Gordungswände das tiefe Fahrwasser begrenzt, wodurch das Auflaufen der Schiffe auf die Steinschüttungen verhindert wird. In dem Hafen Stolpmünde ist aber bei der letzten Verlängerung der westlichen Mole (Fig. 117) die Steindossirung auf der Hafenseite gar nicht zur Ausführung gekommen, indem der Körper der Mole, der hier gleichfalls aus Senkstücken und Steinschüttung besteht, sich an eine Reihe dicht neben einander eingerammter Pfähle lehnt. Dieselbe Construction hatte ich schon vor 35 Jahren angewendet, als ich den östlichen Damm an der Mündung des eigentlichen Hafens von Pillau verlängerte. In diesen beiden Fällen erheben sich also die Hafendämme so steil, daß Schiffe daran anlegen, oder unmittelbar daneben vorbeifahren können.

Von der Richtung der Hafendämme wird im Folgenden die Rede sein, zunächst ist ein wichtiger Punkt, der ihre Anordnung im Allgemeinen betrifft, zu erörtern. Die Ruinen der alten Hafendämme in der Umgegend von Neapel, so wie auch im Römischen Gebiete sind nämlich von neueren Constructionen wesentlich verschieden, insofern sie nicht im Zusammenhange erbaut sind, vielmehr aus einzelnen Pfeilern von grösserer oder geringerer Länge bestehn, die durch freie Zwischenräume von verschiedener Weite von einander getrennt sind. Juliano Facio *) hat die Nachrichten hierüber gesammelt, auch die noch wahrnehmbaren Thatsachen zusammengestellt, und sich dahin ausgesprochen, daß diese Anordnung der Hafendämme wesentliche Vortheile in Betreff der Erhaltung der Tiefe bietet. Das wichtigste Beispiel dieser Art ist der Hafen von Antium, der vor der ziemlich geraden Küste liegt, in der wahrscheinlich früher eine Einbucht statt fand, die gegenwärtig verlandet ist. Der Theil des Hafens, der in das offene Meer tritt, ist etwa 180 Ruthen lang und 80 Ruthen breit. Zwei Dämme umschlossen ihn, und bildeten zwei getrennte Eingänge. Außerdem befinden sich im Innern noch zwei andre unregelmässige Dämme. Die Gesamtlänge von allen mißt etwa 400 Ruthen. In diesen Hafendämmen, die zum kleinsten Theile im vorigen Jahrhunderte erneut sind, grossentheils aber in Trümmern liegen und nur an wenigen Stellen noch über das Wasser hervorragen, befinden sich eine Menge Oeffnungen, die etwa 18 Fufs weit und mit Bogen überspannt gewesen zu sein scheinen. Die dazwischen befindlichen Pfeiler haben dagegen die Länge von 100 bis 150 Fufs, und dürften in dem westlichen Dämme noch grösser gewesen sein. Die Breite der Dämme mißt etwa 30 Fufs. Aehnliche und, wie es scheint, verhältnissmässig noch grössere Oeffnungen kommen auch in den Resten der Hafendämme von Puzzuoli, Misene und Nisita vor.

Gewiss ist die Frage wichtig, welchen Zweck diese Oeffnungen hatten. Sganzin macht darauf aufmerksam, daß wenn der Wellenbrecher bei Cherbourg nach de Cessarts ursprünglichem Plane, also

*) *Intorno al miglior sistema di costruzione de' Porti*, Napoli 1828, und *nuove osservazioni sopra i pregi de' porti degli antichi*. Napoli 1832. — Auszüge der ersten Schrift und zwar mit Beifügung mehrerer Situationszeichnungen sind von Lemoyne in den *Annales des ponts et chaussées* 1832, 1837 und 1839 mitgetheilt.

ohne die weitere Verbindung der Kegel, die man nachträglich einföhrte, zur Ausführung gekommen wäre, man hier gleichfalls einen vielfach durchbrochenen Hafendamm dargestellt haben würde, ohne daß es dem Verfasser des Projectes in den Sinn gekommen wäre, dadurch Verlandungen im dahinter belegenen Theile der Bucht zu verhindern. Gewiß liegt die Vermuthung sehr nahe, daß, wie in diesem Falle die Construction einzelner Theile des Hafendammes leichter erschien, als die Darstellung desselben im Zusammenhange, so auch bei den alten Häfen dieselbe Rücksicht zu einem ähnlichen Verfahren geführt hat. Diese Ansicht gewinnt aber eine große Wahrscheinlichkeit, und man darf an ihrer Richtigkeit kaum noch zweifeln, wenn man darauf Rücksicht nimmt, daß diese Hafendämme aufgemauert sind. Daß Fangedämme im offenen Meere erbaut, und die großen hindurchdringenden Wassermassen in damaliger Zeit beseitigt sein sollten, ist gewiß nicht anzunehmen. Dagegen kannte man die Methode, Schiffe mittelst Steinladungen zu versenken, und wenn die Fahrzeuge zu diesem Zwecke besonders erbaut waren, und nicht nur mit Steinen vollgepackt, sondern ausgemauert wurden, so verwandelten sie sich in die auch noch üblichen Senkkasten oder Caissons.*) Diese ließen sich aber in damaliger Zeit gewiß nicht dicht schließend neben einander aufstellen, vielmehr blieben freie Zwischenräume, die kaum geringer, als 18 Fuß weit sein konnten. In dieser Weise wären also die in Rede stehenden Oeffnungen nicht zur Erhaltung der Tiefe im Hafen angebracht, sondern sie entstanden, weil man sie nicht vermeiden konnte. Ueber Wasser wurden sie aber mit Bogen überspannt, damit der Hafendamm nicht unterbrochen würde.

Facio ist, wie erwähnt, anderer Ansicht. Er meint, der Zweck dieser Oeffnungen sei gewesen, die Küsten-Strömung in dem Hafen nicht zu unterbrechen. Nach allen sonstigen Erfahrungen würde indessen der Sand oder der Kies, der auf der Stromseite durch eben diese Oeffnungen in den Hafen dringt, von der sehr geringen Strömung in dem letzteren nicht weiter bewegt werden können und so nach in dem Hafen liegen bleiben. Es würde dieselbe, und wegen der größeren Verminderung der Geschwindigkeit noch eine stärkere Verflachung, wie etwa in der östlichen Mündung des Hafens von

*) Im ersten Theile dieses Handbuches § 48.

Cette sich bilden. In dieser Beziehung sind also die Oeffnungen gewifs mehr schädlich, als nützlich. Dagegen könnten die überall hindurchdringenden Wellen die Abstillung des Wassers, und mit ihr den Niederschlag der darin schwebenden feinen erdigen Theilchen wohl in etwas verhindern, und sonach liesse sich freilich ein gewisser Nutzen dieser Anordnung anerkennen, namentlich wenn die erdigen Theilchen durch einen einmündenden Fluß herbeigeführt werden und keine Versandung durch den Küstenstrom zu besorgen ist, insofern letzterer nur reines Wasser herbeiführt. Eine solche Bedingung wird aber nur an einer felsigen Meeresküste, die tiefes Wasser vor sich hat, erfüllt, und an solcher ist wohl niemals ein Hafendamm dieser Art ausgeführt. Der Hafendamm soll die Wellen abhalten, dieses ist vorzugsweise sein Zweck, derselbe wird aber durch die Oeffnungen wenigstens theilweise vereitelt. Indem an der äussern Seite eines solchen Dammes jede Welle hoch ansteigt, so veranlasst sie im Innern des Hafens den entsprechenden Wellenschlag, ähnlich wie bei meinen Versuchen derselbe in der Wellenrinne erregt wurde. Sobald aber die Wellen den Hafendamm normal treffen, so werden auch Wellen im Innern neben allen Oeffnungen gleichzeitig erregt und können sonach eine sehr starke und für die Schiffe nachtheilige Bewegung veranlassen. Die beiden isolirten und in scharf gebrochenen Linien gezogenen Dämme im Innern des Hafens von Antium geben zu der Vermuthung Veranlassung, daß die Wellenbewegung in der That zu stark war, und daß man sich daher gezwungen sah, an einzelnen Stellen noch besonders gesicherte Liegeplätze der Schiffe darzustellen.

Nachdem die mechanischen Hülfsmittel, namentlich in Betreff des Transportes großer Steinmassen in neuerer Zeit so wesentliche Verbesserungen erfahren haben, ausserdem auch die Taucherglocke Gelegenheit bietet, in bedeutenden Tiefen unter Wasser Maurer- und andre Arbeiten, wenn auch mit vermehrten Kosten, doch mit derselben Sicherheit auszuführen, wie über Wasser, wird gewifs das so eben erwähnte System der Hafendämme mit vielfachen und weiten Unterbrechungen nicht wieder aufgenommen werden. Es ist auch nicht bekannt geworden, daß irgendwo die Ansichten von Facio Eingang oder auch nur eine ernstliche Berücksichtigung gefunden hätten. Nichts desto weniger sind dessen Mittheilungen und Unter-

suchungen von historischer Bedeutung, und verdienen in dieser Beziehung gewiß volle Anerkennung.

In Betreff der Anordnung der Hafendämme ist ferner die Frage wichtig, ob man denselben an ihren äußeren, dem Meere zugekehrten Seiten, sehr flache oder steile Böschungen geben soll. Dieser Gegenstand wurde bei Gelegenheit der Einrichtung des großartigen Sicherheitshafens vor Dover ausführlich erörtert. Viele und zum Theil sehr namhafte Sachverständige wurden darüber im Jahre 1845 vernommen, und die Aussagen derselben sind dem Berichte, welchen die Commission am 28. Januar 1846 dem Secretär des Schatzamtes erstattete, wörtlich beigefügt worden. Dieser Bericht ist später beiden Parlaments-Häusern vorgelegt, und bei der kurzen und übersichtlichen Fassung desselben in Betreff der in Rede stehenden Frage dürfte es sich empfehlen, diesen Theil des Berichtes in vollständiger Uebersetzung hier folgen zu lassen. Ueber die Art der Ausführung der Hafendämme vor Dover sagt die Commission:

„Die Ingenieure, deren Projecte uns vorliegen, sind verschiedener Ansicht über diese wichtigen Punkte, und wenn solche Männer abweichende Meinungen darüber äußern, wie die Dämme angeordnet werden müssen, um der Kraft der Wellen den größten Widerstand zu leisten, so können wir kaum ausdrücken, wie sehr wir die Verantwortlichkeit fühlen, die wir übernehmen, indem wir dem Befehle des Schatzamtes nachkommen, und uns entscheiden sollen, welches Project den Vorzug verdient.

Es wird zur Vereinfachung dieses Theiles unseres Berichtes dienen, wenn wir die wesentlichsten Punkte der Projecte kurz bezeichnen, und gleichzeitig mit den letzteren auch die Auslassungen der Ingenieure vorlegen, wodurch sie ihre Ansichten unterstützt haben.

In ähnlicher Weise werden wir auch die Ansichten derjenigen Männer mittheilen, bei denen wir Belehrung suchten über diesen Gegenstand, der theils von so großem und allgemeinem Interesse ist, theils aber auch in seiner wissenschaftlichen Behandlung und in der Beobachtung der Erscheinungen noch so Vieles wünschen läßt.

Die Ansichten derjenigen Ingenieure, welche Entwürfe vorgelegt haben, sind folgende:

Herr Walker schlägt vor, Mauern, die beinahe senkrecht sind, auf dem Meeresboden zu erbauen: er will sie aber bei Portland in Caissons ausführen und sie von dort nach Dover bugsiren lassen.

Herr Rendel giebt grundsätzlich den senkrechten Mauern den Vorzug, und da kein andres brauchbares Material zur Stelle ist, und er die Beischaffung desselben aus der Ferne für zu schwierig und sogar für unausführbar hält, so empfiehlt er die Anwendung von Mauerblöcken aus festen, mit Cementmörtel verbundenen Ziegeln.

Herr Harry Jones hält gleichfalls die senkrechte Mauer an sich für vortheilhafter, in seinem Projecte empfiehlt er aber mit Rücksicht auf Verminderung der Kosten einen flachen Hafendamm aus unbearbeiteten Kalksteinblöcken, der sich bis nahe zur Höhe des niedrigsten Wassers erhebt, und eine senkrechte Mauer trägt. In einem spätern Schreiben schlägt er jedoch die Anwendung von Béton-Blöcken vor, und will dieselben vom Meeresgrunde an in regelmäßigen Schichten zu einer senkrechten Mauer verbinden.

Herr Denison ist für eine senkrechte Mauer, die er aus grossen Béton-Blöcken bis 3 Fuß unter das niedrige Wasser hinaufführen, und darauf einen Oberbau aus Granit stellen will. Er wählt aber den Béton, weil er denselben für wohlfeiler, als Ziegel-Mauerwerk hält.

Herr George Rennie empfiehlt einen Damm aus Steinschüttung, ähnlich demjenigen bei Plymouth.

Herr John Rennie erklärt sich gleichfalls für die bei Plymouth gewählte Bauart, die Steine sollen aber von Portland oder von den Inseln im Canale beigeschafft werden.

Herr Cubitt hat in seinem Entwurfe einen Hafendamm mit flachen Böschungen gewählt, wozu die Steine wieder von Portland, oder von den Inseln im Canale entnommen werden sollen. Bei seiner mündlichen Vernehmung vor der Commission empfahl er aber, senkrechte Mauern in Caissons zu erbauen.*)

*) Bei der Vernehmung am 26. November 1845 erklärte Cubitt diesen Widerspruch, indem er sagte, er halte eine senkrechte Mauer in sofern für zweckmäßiger, als dieselbe beim Wellenschlage weniger leide, als eine Steinböschung. Bei der Bearbeitung des Projectes habe er jedoch gefunden, daß die Ausführung der ersten zu schwierig und zu gewagt sei, weshalb er sich für letztere entscheiden müsse.

Hierauf gingen wir, wie bereits angedeutet, zur Vernehmung der folgenden Personen über:

1. des königlichen Astronomen, Professor Airy,*)
2. des Professor Barlow,
3. des General-Majors J. Burgoyne, General-Inspectors der Festungen und früheren Vorsitzenden der Bau-Verwaltung in Irland,
4. des Directors der geologischen Aufnahmen, Henry de la Beche,
5. des bei den Liverpooler Docks angestellten Ingenieurs Hartley,
6. des General - Inspectors der Eisenbahnen, General - Major Pasley und
7. des Capitäns Vetch.

Diese Männer sprachen sich sämmtlich entweder aus theoretischen Gründen oder nach eignen Wahrnehmungen für nahe senkrechte Mauern aus.

8. Der berühmte Französische Ingenieur und Director der Cherbourger Bauten Reibell, vertheidigt den Grundsatz der senkrechten Mauern.

9. Der Ingenieur Brunel hat sich gleichfalls dafür ausgesprochen.

10. Der Ingenieur Bremner, der ausgedehnte Bauten an der Küste von Schottland ausgeführt hat, erklärt sich für senkrechte Mauern, dagegen

11. empfiehlt der Ingenieur Alan Stevenson in Edinburgh flache Böschungen.

Das Schatzamt wird ansehen, daß, mit einer einzigen Ausnahme, alle diese Stimmen sich zu Gunsten der senkrechten Mauern ausgesprochen haben. Es gereicht uns zur großen Beruhigung, zu sehn, daß unsere Ueberzeugung von denjenigen Männern getheilt wird, von deren Urtheil wir nicht abweichen durften, ohne gegen unsre eignen Ansichten mißtrauisch zu werden.

Man macht uns den Vorwurf, daß die empfohlne Hafenmauer ein Experiment sei. Sie ist es ohne Zweifel, insofern bisher noch kein ähnliches Werk von dieser GröÙe ausgeführt ist. Die Hafendämme mit flachen Böschungen, aus Steinschüttungen bestehend, wa-

In § 2 und § 5 ist bereits erwähnt, daß derselbe sich mit der Theorie der Wellen, wie auch mit Beobachtung der Wirkung derselben beschäftigt hat.

ren indessen einst gleichfalls Experimente, und noch dazu solche, die in zahlreichen Fällen denjenigen zur Warnung dienen müssen, welche über die Erbauung ähnlicher Werke entscheiden sollen.

Kein einziger Fall ist uns bekannt, in welchem man eine flache Böschung ausgeführt hätte, ohne die verheerendsten Wirkungen des Wellenschlages zu erfahren. Dieses beweist Plymouth und Cherbourg. Am letzten Orte wurde innerhalb vierzig Jahren der Damm dreimal über das Hochwasser erhöht, und eben so oft rifs die See den obern Theil wieder fort. Nachdem alle Anstrengungen, durch Wissenschaft und Erfahrung unterstützt, dennoch vergeblich waren, um dem Werke Haltbarkeit zu geben, so wurde für den Theil, der über Niedrigwasser vortritt, von dieser Bauart abgegangen, und es blieb keine andre Wahl, als eine senkrechte Mauer darzustellen. Die Zerstörungen, die am Wellenbrecher bei Plymouth vorgekommen sind, sind zu bekannt, als daß sie noch hier erwähnt werden dürften.

Die beiden benannten Wellenbrecher liegen in tiefen Buchten, betrachtet man dagegen die Charte der Küsten bei Dover, so sieht man, wie wenig hier die Bucht zurücktritt, und wie ein Werk mit flacher Böschung durch Steinschüttung dargestellt, hier ein künstliches Felsriff bilden würde, dessen Brandungen sich bis in das Fahrwasser des Canales erstrecken müßten. Einer der Ingenieure hat die Steinmasse, welche für den Hafendamm mit flacher Böschung erforderlich ist, auf 7 Millionen Tons (etwa 900000 Schachtruthen) berechnet.

Eine vor Kurzem von der Admiralität aus gemachte Mittheilung enthält eine lehrreiche Zusammenstellung über den gegenwärtigen Zustand derjenigen Häfen an den Küsten von Irland, wobei flache Böschungen zur Ausführung gekommen sind.

Die Außenseite des östlichen Hafendammes von Kingstown hat fortwährend bedeutende Instandsetzungen erfordert und ist auch gegenwärtig noch keineswegs gesichert.

Der Damm bei Ardglass, im Jahre 1829 von großen Steinblöcken mit flacher Böschung ausgeführt, liegt jetzt mit dem darauf erbauten Leuchthurme als Ruine in der See.

Der Hafendamm bei Donaghadee, im Jahre 1820 gleichfalls von mächtigen Steinen und auf der Seeseite mit flacher Böschung

dargestellt, ist durch südwestliche Stürme in der Krone aufgerissen, und ein Theil des Materials liegt in der Mitte der Hafenmündung.

Der Damm bei Portrush, 1826 mit flacher Böschung aus grossen Steinen erbaut, war 1844 so beschädigt, daß der Ingenieur, der mit der Untersuchung beauftragt war, berichtete, 4000 Tons Steine seien vom äussern Ende der Böschung des Kopfes fortgetrieben und bildeten ein gefährliches Felsriff von 70 Fufs Länge, das 3 Fufs über das niedrige Wasser vorragte.

Bei Dunmore wurde der Damm im Jahre 1815 gleichfalls aus grossen Steinblöcken, jedoch nur mit einer Böschung von dreifacher Anlage erbaut, 1832 war derselbe so verfallen, daß der Ingenieur erklärte, die See habe das Pflaster aufgebrochen und den Damm fast in seiner ganzen Länge zerrissen. Die Durchrisse erweiterten sich aber und näherten sich bei jedem Sturme dem Kopfe. Bei der Untersuchung 1845 ergab sich, daß eine Masse grosser Steine aus der Böschung fortgetrieben war, und nunmehr ein Riff bildete, das von dem Kopfe des Dammes ausgehend, in schräger Richtung sich 112 Fufs weit quer über die Mündung des Hafens erstreckte und bei kleinem Wasser trocken lag.

Im Gegensatze zu diesen Thatsachen erwähnen wir, daß nach derselben officiellen Mittheilung der Hafendamm bei Kilrush, der neben der Mündung des Shannon gegen das Atlantische Meer gekehrt ist, bei der Untersuchung im September 1845 in vollkommen gutem Zustande befunden wurde, und seine Unterhaltung seit der Erbauung noch keinen Schilling gekostet hatte.*) Derselbe stellt sich aber an der Seeseite als senkrechte Mauer dar.

Diese Thatsachen in Verbindung mit den wichtigen Erörterungen bei den mündlichen Vernehmungen veranlassen uns unbedingt zu empfehlen, daß eine nahe senkrechte Mauer zur Umschliessung des in der Dover-Bai anzulegenden Hafens gewählt werde."

In solcher Weise äusserte sich die Commission, und ihrer Ansicht wurde auch vollständig entsprochen, indem der vor Dover er-

*) Dieser Hafendamm aus dem schönen Kalksteine von Foyens aufgeführt, tritt bei einer Breite von 45 Fufs vor die Küste 360 Fufs vor. Die Tiefe vor seinem Kopfe beträgt bei Niedrigwasser 7 Fufs und bei Hochwasser 26 Fufs. Er wurde 1880 unter Leitung von Harry Jones erbaut.

bauende Hafendamm vom Grunde des Meeres an sich sehr steil erhebt und seine Seitenflächen sowol an der äußern, wie an der innern Seite auf 4 Fuß Höhe nur um 1 Fuß zurücktreten. Aus den jährlich erstatteten Berichten ergibt sich aber, daß er bisher noch keine irgend nennenswerthe Beschädigung erfahren hat. Die Ansicht, daß flache Steinschüttungen an der offenen See ganz unhaltbar sind, hat gegenwärtig, wie es scheint, eben sowol in England, wie in Frankreich allgemein Eingang gefunden. Das im vorliegenden Falle gewählte Profil ist jedoch nicht das übliche, oder man wendet es nur neben und vor den Hafenköpfen an, um die unmittelbare Annäherung der Schiffe bei allen Wasserständen daselbst möglich zu machen. Gemeinhin wird auf einer Steinschüttung, die sich bis zum niedrigsten Wasser erhebt, in ähnlicher Weise, wie bei Cherbourg geschehn (Fig. 112), die Mauer gestellt. Dieses ist in Frankreich auf den neuen Hafendämmen von Marseille geschehn, und in gleicher Art hat man auch bei Cette dem fortwährenden Herüberschleudern der großen Steine Einhalt gethan. Die sehr großartigen Hafenanlagen in England bei Holyhead und Portland, von Rendel ausgeführt, sind in gleicher Weise umschlossen. Die Steinschüttungen, welche die Unterlage bilden, werden aber keineswegs besonders flach gehalten, vielmehr giebt man denselben, namentlich in Frankreich, sehr steile Böschungen, das heißt, man versenkt die Steine, soviel wie es geschehn kann, nur in der Richtung der Mittellinie und überläßt es den Wellen, die passende Dossirung selbst darzustellen. Damit jedoch diese Steine nicht fortwährend in Bewegung kommen, wodurch sie leicht, wie wirklich geschieht, längs dem Hafendamme getrieben werden, und endlich um seinen Kopf treten, so überdeckt man sie mit den riesigen Béton-Blöcken von gegen 400 Cubikfuß Inhalt, die zwar anfangs nur den obern Theil der Schüttung sichern, die aber, sobald die untern Lagen fortreiben, herabgleiten, und nunmehr auch diese überdecken.

Daß die Unhaltbarkeit der flachen Dossirungen selbst aus sehr großen Steinen sich auch an unsern Ostsee-Häfen herausgestellt hat, ist bereits § 5 nachgewiesen, und besonders hat sich dieses an dem Hafen von Swinemünde gezeigt, wo auf der Binnen-seite des Hafendamms durch die herübergeworfenen Steine ein vollständiges Banket sich ausgebildet hat, das ursprünglich hier nicht

existirte. Bedenklicher sind aber noch die Veränderungen, die neben dem Kopfe eintreten. Die an der äussern Seite des Dammes gegen den Kopf getriebenen Steine haben nämlich hier eine ausgedehnte Bank gebildet, die über die innere Begrenzung des Dammes hinaus in den Hafen tritt. Nach besonders heftigen Stürmen sieht man eine grosse Anzahl von Steinen, von 10 Cubikfuss Inhalt und darüber, auf der Krone und den Dossirungen über Wasser liegen. Wie gross die Zahl derjenigen ist, die in den Hafen gestürzt sind, lässt sich nicht ermitteln. Die Steine werden aber nicht nur vom untern Theile der Dossirung, wo sie ganz unregelmässig liegen, heraufgestossen, sondern sie lösen sich auch aus den obern ziemlich ebenen Theilen, und selbst aus der Krone hebt der Druck des Wassers zuweilen einzelne heraus. Die Reparatur und Erhöhung der Steindecke ist eine immer wiederkehrende Arbeit, die sich in jedem Jahre wiederholt, und namentlich trennen sich und versinken immer die äussersten der regelmässig versetzten Steine. Ein älterer Versuch, dieselben unter sich zu verklammern, führte zu keinem Resultate, auch das Verstreichen der Fugen mit Cement gewährt bei Stürmen keine Sicherung und am wenigsten für diejenigen Steine, welche unmittelbar an die rohe Schüttung unter Wasser sich anlehnen. In neuerer Zeit wird die seeseitige Dossirung mit grossen gesprengten und ziemlich regelmässig geformten Granit-Blöcken von 20 bis 30 Cubikfuss Inhalt überdeckt. Ohne Zweifel leisten diese mehr Widerstand, aber es ist nicht zu verhindern, dass sie unregelmässig sich senken, also mit der Zeit den Wellen wieder die Gelegenheit zu stärkerem Angriffe bieten. Verschiedene Versuche, die seeseitige Dossirung und die Krone aus kleineren Granitstücken in schnell bindendem Mörtel aufzumauern, sind zwar nur in sehr geringer Ausdehnung zur Anwendung gekommen, haben jedoch keine Beschädigungen bisher gezeigt. Wenn aber auf dem Cherbourger Damme, der dem starken Fluthwechsel und dem heftigsten Wellenschlage ausgesetzt ist, die Steinschüttung übermauert werden kann, die nur beim niedrigsten Wasser auf wenige Stunden sichtbar wird, so darf man gewiss nicht zweifeln, dass dasselbe Verfahren auch an der Ostsee über Wasser ausführbar ist. Dabei bleibt indessen noch die Frage unentschieden, wie man die flache seeseitige Dossirung unter Wasser befesti-

gen und das Eintreiben der dort liegenden Steine in den Hafen verhindern soll. Eine Ueberdeckung mit grossen Béton-Blöcken dürfte das einzige, wenn auch sehr kostbare Mittel sein, um diesen Zweck sicher zu erreichen. Bei Gelegenheit der Beschreibung der Constructionen wird hierauf näher eingegangen werden.

Damit die Hafendämme zur Zeit eines heftigen Seeganges noch ziemlich bequem betreten werden können, und nicht zu grosse Wassermassen von den davor ansteigenden Wellen sich lösen und auf den Damm herabstürzen, solche vielmehr nach der Seeseite zurückgeworfen werden, so geschieht es wohl zuweilen, dass man die äussere Fläche des Hafendamms nicht nur in die Vertikale übergehn, sondern im obern Theile sie sogar weiter vorspringen lässt. Wenn ein sehr heftiges Ueberspritzen dadurch auch keineswegs vermieden werden kann, so sind die im Schutze der Mauer stehenden Leute doch wenigstens gegen die Ueberschüttung durch zusammenhängende Wassermassen gesichert. Bei Dover hat man in dieser Weise die Brustmauer in ihrer äussern Seite als Hohlkehle behandelt, deren oberer Theil mittelst Ueberkragung um 3 Fufs über die Kehle vortritt.

Zum sichern Betreten des Damms ist es ferner erforderlich, dass derselbe hinreichend hoch liegt, und auch die nöthige Breite in der Krone hat. In Frankreich pflegt man zu diesem Zwecke die Krone 7 bis 8 Fufs über das höchste Wasser zu legen, und ihr meist eine Breite von 25 Fufs zu geben. Letztere genügt indessen nicht, wenn es Absicht ist, den Schiffen von hier aus nicht nur Hülfe zu leisten, sondern sie an den Hafendämmen auch zum Theile zu befrachten oder zu löschen. In solchem Falle kommt auch die Anlage einer Eisenbahn auf den Hafendämmen in Betracht. In denjenigen Englischen Häfen, wo Personen-Züge sich an Dampfschiff-Verbindungen anschliessen, und ein starker Verkehr sich gebildet hat, wie etwa bei Dover nach Calais oder bei Holyhead nach Kingstown, fährt der Eisenbahnzug bis auf den Hafendamm und hält neben dem Dampfboote, so dass die Reisenden nur wenige Schritte zu gehn und nur die Treppen herabzusteigen brauchen.

Dass die Dämme in allen Fällen, wo Schiffe an sie anlegen sollen, auf der innern Seite sehr steile Böschungen haben, ausserdem aber auch mit Reibehölzern, Schiffshaltern, und Rin-

gen zum Befestigen der Schiffe versehn sein müssen, so wie auch mit Kränen, Treppen und dergleichen, bedarf kaum der Erwähnung. Soweit hierbei gewisse Eigenthümlichkeiten der Einrichtung eingeführt sind, sollen diese bei Beschreibung der Constructionen mitgetheilt werden.

Bisher war nur von den Hafendämmen im Allgemeinen die Rede, die eben sowol weite Bassinhäfen, als auch die langgestreckten Einfahrten umschliessen. Ueber die ersteren bleibt nichts Besonderes zu erwähnen, wohl aber verdienen diejenigen Dämme, die in geringer Entfernung von einander und nahe parallel weit in die See hinaustreten, und ein langes schmales Fahrwasser als Hafenmündung darstellen, in mehrfacher Beziehung eine eingehende Erörterung.

Welche Breite man solchem Halse zu geben pflegt, ist bereits oben § 38 für mehrere Häfen nachgewiesen. In Französischen Häfen, wo nicht leicht die Schiffe an diese Hafendämme anlegen, vielmehr immer nur an denselben vorübergehn, ist es üblich, die Breite dadurch zu bestimmen, dass drei solcher Schiffe, wie sie den Hafen zu besuchen pflegen, neben einander segeln können. In dieser Art wird sehr zweckmässig die Breite des Halses von der Grösse der hindurchgehenden Schiffe abhängig gemacht.

Der Zweck dieser weit hinaustretenden Hafendämme ist augenscheinlich kein andrer, als dass man durch sie die Hafenmündung in tieferes Wasser verlegen wollte, mit sehr wenigen Ausnahmen sind auch diese Dämme nur durch allmähliche Verlängerung entstanden, und bei ihrer ersten Anlage war es keineswegs Absicht, sie so weit herauszuführen, wie nach und nach geschehn ist. Das Bedürfniss hierzu trat aber ein, indem der Strand oder auch die Barre, die vor dem Strande liegt, der Verlängerung der Dämme entsprechend immer weiter vorrückte. Der innige Zusammenhang zwischen dieser Erscheinung und der Verlängerung der Hafendämme ist bereits ausführlich erörtert, und es giebt wohl keinen Hafenbaumeister, der dieselbe noch bezweifelte. Minard hat in einem besondern Abschnitte seines Buches*) nachgewiesen, wie bei den Fran-

*) Cours de Construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer. Chapitre XVII.

sichen Häfen nach jeder ausgeführten Verlängerung der Dämme die Untiefen vorrückten und immer vor die neuen Köpfe voraten. Er erwähnt nur, daß sich dieses für Calais nicht nachweisen lasse. Es ergibt sich aber hieraus, wie vorsichtig man sein muß, eine weitere Verlängerung in Vorschlag zu bringen, und man darf dabei nicht unbeachtet lassen, welche große Uebelstände für den Schiffsverkehr durch solche Verlängerung des Hafens herbeigeführt, oder immer fühlbarer gemacht werden, und wie sehr zugleich die Kosten für die Unterhaltung sich dadurch steigern.

Diese frei vortretenden Hafendämme sind ihrer Natur nach den Buhnen ähnlich, und man würde ganz gleiche Dämme erbauen, wenn es Absicht wäre, den Sand und Kies, den die Küstenströmung und die schräge auflaufenden Wellen herbeiführen, recht vollständig aufzufangen. Sie erfüllen diesen Zweck auch jedesmal, und das Fahrwasser hält sich nur offen in Folge der ein- oder austretenden Strömung. Diese verstärken sie aber, indem sie die Breite des Stromes beschränken und seine weite Ausdehnung verhindern. In dieser Weise pflegen sie in der ersten Zeit sich sehr nützlich zu erweisen. Liegt vor der Hafenmündung eine Untiefe, so verbreitet sich über diese der ausgehende Strom, oder er wird auch wohl durch den Wind und den Küstenstrom bald nach dieser und bald nach jener Richtung abgelenkt, er schwächt sich also so sehr, daß er kein tiefes Fahrwasser ausbilden kann. Sobald man dagegen die Hafendämme bis auf die flachste Stelle der Untiefe und sogar über diese hinaus verlängert, so gewinnt der Strom, indem das Wasser nunmehr zusammengehalten wird, viel größere Kraft und das gewünschte tiefe Fahrwasser stellt sich von selbst dar. Der erste Erfolg ist also sehr günstig, doch leider hat dieser keinen Bestand. Minard macht darauf aufmerksam, daß diejenigen Französischen Häfen, die mit solcher langen Einfahrt (chenal) versehen sind, ursprünglich in einer Ufer-Bucht lagen, daß letztere sich aber später anfüllte und nicht nur verschwand, sondern sogar der Strand davor so an Ausdehnung gewonnen hat, daß derselbe nunmehr überall eine vorspringende Ecke bildet.

Obwohl Minard die großen Uebelstände dieses Systems vollständig anerkennt, und namentlich zugiebt, daß die Anlage- und Unterhaltungs-Kosten dabei von der höchsten Bedeutung sind, auch

dafs die Tiefe sich um so schwieriger erhalten läfst, je weiter man die Mündung in die See hinausgerückt hat, so erwähnt er dennoch gewisse Vorthelle, die man hierdurch erreicht. Der Vollständigkeit wegen muß diese sehr abweichende Ansicht hier mitgetheilt werden. Eine solche, weit in die offene See hinaustretende Hafenmündung und zwar im Anschlusse an einen langen und schmalen Hals würde nach Minard's Ansicht sowol für ausgehende, als für einkommende Schiffe von Nutzen sein. Jene könnten nämlich selbst bei Winden, welche das Ufer treffen, von einem der Köpfe aus absegeln, und wenn sie zunächst auch dem Ufer stark zutreiben, so würde dieses nicht gefährlich für sie sein, weil sie auch hier noch tiefes Wasser finden und es ihnen daher leicht gelingt, sobald sie in voller Fahrt sind, einen Curs zu wählen, wobei sie sich vom Ufer hinreichend entfernt halten. Die einkommenden Schiffe brauchten dagegen, wenn sie beim Einsegeln durch den Strom versetzt werden, und sie sonach die Mündung nicht mehr sicher treffen, nicht auf den Strand zu laufen, sondern sie könnten auch zur Seite der Hafenmündung ohne Gefahr sich noch mehr dem Ufer nähern, und hier wenden und auflaviren und demnächst aufs Neue versuchen, in den Hafen einzukommen. Augenscheinlich spricht Minard von einer so weit vorgetriebenen Mündung, wie solche nirgend existirt, und es ist wohl auch niemals daran gedacht worden, in dieser Weise die Dämme in das offene Meer zu verlängern. In den Französischen und eben so auch in den Englischen Häfen, die mit langen Mündungen versehen sind, liegen die letzteren jedesmal ungefähr in der Grenze des niedrigen Wassers, und auch bei uns ist man nirgend über die Untiefen so weit hinausgegangen, dafs die Schiffe an den äufsern Seiten der Hafendämme hinreichende Tiefe finden, um sich hier dem Lande zu nähern. Wenn aber wirklich eine Mündung dieser Art künstlich dargestellt werden sollte, so ist kaum anzunehmen, dafs sie vor einer Küste, welche überhaupt Verlandungen ausgesetzt ist, sich lange erhalten würde. Die weit vortretenden Hafenköpfe würden den Küstenstrom so ablenken, dafs sich vielleicht vollständige Nehrungen daneben ausbildeten, und jedenfalls würden ausgedehnte Sandablagerungen zu beiden Seiten der neuen Mündung nicht fehlen.

Es entsteht nunmehr die wichtige Frage, wie diese Hafendämme

anzuordnen sind, damit theils das Fahrwasser möglichst wenig verflacht, theils aber auch die einkommenden Schiffe bald und vollständig gesichert werden. Man pflegt die Hafendämme so zu legen, daß das unmittelbare Eintreiben des Sandes und Kieses, der durch Wellen und Küstenströmung längs dem Strande in Bewegung gesetzt wird, nicht besorgt werden darf. Indem dieser Zweck größtentheils sich aber schon dadurch erreichen läßt, daß man nur auf derjenigen Seite, die von der stärksten Küstenströmung und den herrschenden Winden getroffen wird, also auf der westlichen, einen hohen Hafendamm ausführt, auf der gegenüberliegenden dagegen den Damm so niedrig läßt, daß er nur so eben den ausgehenden Strom bei Niedrigwasser, oder den Spülstrom zusammenhält, so hatte man in früherer Zeit diese Anordnung in mehreren Französischen Häfen wirklich getroffen. Es zeigten sich indessen dabei verschiedene Uebelstände. Sobald der Wind eine östliche Richtung annahm, wurde der Wellenschlag im Hafen überaus gefährlich, und zugleich traten alsdann auch sehr starke Verlandungen ein. Dazu kam noch, daß bei dieser Richtung des Windes, der die Schiffe gegen den Damm trieb, auf welchem das Treideln allein möglich war, letzteres sich nur mit der größten Mühe ausführen ließ. Endlich aber wiederholte sich sehr häufig der Fall, daß die einkommenden Schiffe auf den niedrigen und zur Zeit des Hochwassers vollständig überflutheten Damm aufliefen, selbst wenn die Richtung desselben durch hohe und feste Baaken bezeichnet war. Aus diesen Gründen hat man sich mit Ausnahme einiger wenigen kleineren Häfen überall veranlaßt gesehen, dem zweiten Dämme gleichfalls die volle Höhe zu geben.

In manchen Häfen, wie zum Beispiel in Gravelines, bleiben sogar beide Dämme unter dem Hochwasser, und in früherer Zeit hielt man diese Anordnung für besonders vortheilhaft, weil man nur den Spülstrom, der immer zur Zeit des kleinsten Wassers dargestellt wird, zusammenhalten wollte, das Hochwasser sollte dagegen frei darübergeln, damit der Sand, der sich längs des Strandes bewegt, nicht aufgehalten würde, vielmehr unbehindert seine Bewegung fortsetzen könnte. Die Unhaltbarkeit dieser Ansicht ist indessen gegenwärtig allgemein anerkannt.

Die beiderseitigen Hafendämme, die gemeinhin nahe normal

gegen das Ufer gerichtet sind, haben meist nicht gleiche Länge, vielmehr tritt der eine mehr oder weniger gegen den andern vor. In der Regel giebt man demjenigen die größere Länge, der sich auf derjenigen Seite befindet, von wo die heftigsten Winde das Ufer treffen. Er erleichtert alsdann das Einkommen der Schiffe bei starkem Seegange, indem das Schiff schon durch ihn gedeckt wird, während es den Kopf des andern Hafendammes passirt, gegen welchen es durch Wind und Wellen getrieben wird. Ist der Unterschied der Länge nicht gar zu geringe, so kann das Schiff in dem stilleren Wasser auch seinen Curs ändern und etwas mehr in den Wind halten, also die Mündung noch erreichen und von dem zweiten Kopfe frei bleiben, wenn es auch beim Ansegeln gegen denselben gerichtet gewesen wäre. Sollte die Richtung des stärksten Windes mit dem des herrschenden oder des gewöhnlichen Windes übereinstimmen, so würde die Verlängerung des demselben zugekehrten Dammes noch um so vortheilhafter sein, weil selbst in gewöhnlichen Fällen derselbe Vortheil einträte. Dazu kommt noch, daß das ansegelnde Schiff von dem vorspringenden Hafenkopfe aus, falls der Wind nicht günstig wäre, leicht eingeschleppt werden kann, und eben so wird es auch beim Ausgehn von hier aus absegeln können, ohne auf den gegenüberliegenden Hafenkopf aufzulaufen.

Zuweilen haben besondere örtliche Verhältnisse zu einer Abweichung von dieser Regel Veranlassung gegeben. So ist bereits erwähnt worden, daß nach der Zerstörung der beiderseitigen Dämme vor dem Cherbourger Handelshafen, nur der rechtseitige oder der östliche in seiner früheren Länge wieder hergestellt, und weiter, als der gegenüber liegende, herausgeführt wurde, wiewol hier die westlichen Winde nicht nur die herrschenden, sondern auch die heftigsten sind. Der Verkehr von Cherbourg ist indessen, wie Minard ausführt, überwiegend westwärts gerichtet, die Schiffe gehn also bei östlichen Winden aus, und deshalb mußte der östliche Damm auch in größerer Länge dargestellt werden. Das Einkommen der Schiffe durfte hier dagegen wegen der sehr geschützten Rhede weniger in Betracht gezogen werden.

Die vorstehend erwähnten Rücksichten beziehn sich allein auf das Ein- und Ausgehn der Schiffe, die Sicherung der Tiefe kommt indessen hierbei gleichfalls in Betracht. Sehr allgemein ist

die Ansicht vorherrschend, daß auf der Seite, von wo der Küstenstrom den Hafen trifft und demselben den Sand und Kies zuführt, die längere Mole liegen müsse, um diesen möglichst vom Hafen abzuhalten. Von dieser Regel wird jedoch vielfach abgewichen. Bei Swinemünde ist in sehr auffallender Weise das Gegentheil geschehn, und eben so in Stolpmünde, namentlich als hier der westliche Hafendamm noch nicht verlängert war. Auch in Colbergermünde tritt der östliche Hafendamm bedeutend weiter vor, während in Rügenwaldermünde beide gleiche Länge haben.

Andrerseits hört man auch zuweilen die Ansicht aussprechen, daß neben dem am weitesten vortretenden Kopfe und zwar an der von der Richtung der Küstenströmung abgekehrten Seite eine Ablagerung sich zu bilden pflege. Diese würde also, falls der Damm, welchen die Küstenströmung trifft, der längere wäre, in dem Fahrwasser liegen, also dieses sperren, oder doch beengen. Sie würde aber außerhalb des Fahrwassers bleiben, wenn der hintere Damm verlängert wäre. Hierdurch wird die bei Swinemünde und sonst getroffene Anordnung unterstützt. Dagegen ist aber anzuführen, daß diese Auffassung durch die Erfahrung nicht bestätigt wird, daß solche Ablagerungen wohl im Hafen vorkommen, jedoch niemals außerhalb desselben. Die Joachims-Fläche bei Swinemünde kann man als solche ansehen, und dieselbe hat auch in der That seit der Erbauung der Dämme sich bis an den Kopf der westlichen Mole ausgedehnt. Die weit vortretende östliche Mole hat diese Ablagerung aber nicht verhindert, an ihrem Kopfe ist dagegen eine ähnliche Ablagerung nicht zu bemerken. Bei Stolpmünde und Colbergermünde wiederholt sich dieselbe Erscheinung. Wenn dagegen, wie in allen diesen Beispielen, die Hafendämme nicht gerade Linien, vielmehr Bogen bilden, die sich in gleichem Sinne krümmen, so erfolgt an der concaven Seite eine Concentrirung der ausgehenden Strömung, und sobald diese entschieden eintritt, so wird der gegenüber befindliche Hafendamm, der die convexe Seite des Stromes bildet, grossentheils entbehrlich. Hierdurch erklärt sich wohl am einfachsten die getroffene Anordnung, und diese Vermuthung bestätigt sich noch dadurch, daß der Hafen Rügenwaldermünde, der zwischen den beiden letztgenannten liegt, sich von diesen nicht nur dadurch unterscheidet, daß seine beiden Hafendämme gleich weit hinausge-

führt sind, sondern daß auch jene Krümmung ihm vollständig abgeht.

Wenn die vorstehend angegebenen Gründe für die weitere Hinausführung des einen oder des andern Hafendammes keineswegs ganz unhaltbar sind, so darf man doch nicht unbeachtet lassen, daß die beabsichtigte Zusammenhaltung und Verstärkung des Stromes schon an dem Kopfe des kürzeren Hafendammes aufhört, daß also in dieser Beziehung die weitere Fortführung des andern nicht mehr den vollen Erfolg haben kann. Aus der Zeichnung des Swinemünder Hafens Fig. 101 ergibt sich dieses sehr deutlich. Obwohl der Strom an der concaven Seite des östlichen Hafendammes sich unverkennbar concentrirt, und hier entschieden die größte Tiefe gebildet hat, so läßt sich doch aus den Vertiefungen vor dem westlichen Kopfe erkennen, daß wenigstens zu Zeiten eine starke Strömung sich um diesen wenden muß, die also für die Ausbildung des weiter seewärts belegenen Fahrwassers verloren wird. Was dagegen die Deckung der einsegelnden Schiffe durch den vortretenden Hafenkopf betrifft, so erfolgt diese nur, so lange der Wind jene Richtung hat, und im entgegengesetzten Falle, wenn nämlich der vortretende Kopf auf der Lee-Seite liegt, also das Schiff durch den Wind gegen denselben getrieben wird, während es noch dem vollen Wellenschlage ausgesetzt ist, so ist die Gefahr bedeutend größer, als wenn beide Dämme gleich weit herausgeführt wären. Es dürfte sich daher im Allgemeinen wohl empfehlen, keinen der beiden Hafendämme über den andern hinaustreten zu lassen, und vielmehr die Köpfe beider einander gegenüber zu legen. In den Französischen Häfen ist dieses auch mit sehr unbedeutenden Abweichungen immer geschehn.

Endlich sind auch die Ansichten über die Richtung der Hafendämme oder des von ihnen eingeschlossenen engen Fahrwassers sehr verschieden. Im Allgemeinen empfiehlt es sich wohl nicht, einen solchen Hafen rechtwinklig gegen das Ufer in das offene Meer austreten zu lassen, weil der Wellenschlag am heftigsten zu sein pflegt, sobald ein starker Wind in dieser Richtung das Ufer trifft. Die Wellen würden alsdann unmittelbar und ungeschwächt einlaufen und zwischen den parallelen Dämmen, wenn diese auch gekrümmt sind, an ihrer Stärke wenig verlieren, so daß sie sich in

voller Höhe bis in den Hafen fortsetzen. Es empfiehlt sich daher, wie bereits bei Gelegenheit der Richtung der Hafenmündung erwähnt ist, die Dämme neben den Köpfen etwas schräge gegen das Ufer zu legen und zwar so, daß sie von der Richtung der stärksten Winde sich entfernen. Diese Rücksicht ist bei den benannten Häfen in Pommern stets beobachtet, sie neigen sich sämmtlich mehr oder weniger westlich, während die nordöstlichen Stürme die heftigsten sind.

Eine solche schräge Richtung gegen das Ufer kann man den Hafenmündungen theils dadurch geben, daß man die Häfen selbst ihrer ganzen Länge nach in dieselbe gerade Linie legt, oder man kann sie auch krümmen, und dadurch der Mündung eine andre Richtung geben, als der Hafen hat. Letzteres ist das Gewöhnliche, die Bequemlichkeit der Schifffahrt fordert dabei indessen sanfte Uebergänge, und insofern man solche einführt, darf man keine merkliche Schwächung des Wellenschlages erwarten. Wie bereits § 33 erwähnt, setzen sich die Wellen an einem regelmäßig gekrümmten concaven Ufer ungefähr eben so fort, als wenn sie einen geraden Schlauch verfolgen, und die grössere Tiefe, die sich hier zu bilden pflegt, verhindert noch in höherem Maasse ihre Abschwächung.

Der Umstand, daß neben dem regelmäßig gekrümmten concaven Ufer eine tiefe Rinne sich ausbildet, welche die Schiffe sicher verfolgen können, hat gleichfalls Veranlassung gegeben, die Krümmung der Hafendämme als besonders vortheilhaft anzusehn, und man pflegt noch darauf hinzuweisen, daß in ganz geraden Häfen, wenn sie nicht übermächtig schmal sind, bald auf der einen, und bald auf der andern Seite Ablagerungen sich bilden, welche beim Einlaufen umfahren werden müssen. Diese Erfahrungen sind allerdings unbestritten, aber man darf auch nicht unbeachtet lassen, daß bei scharfer Krümmung vor den convexen Ufern sehr starke Ablagerungen sich bilden, die einen grossen Theil des Hafens der Benutzung ganz entziehn. Der Swinemünder Hafen zeigt dieses, und wenn vollends, wie hier geschehn ist, neben dem concaven Ufer übermächtige Tiefen sich ausbilden, deren die Schifffahrt gar nicht bedarf, so vermindert sich dadurch noch um so mehr die Breite des nutzbaren Fahrwassers, und letzteres würde weniger beengt worden sein, wenn die Krümmung schwächer geblieben wäre.

Bei dem Ausbau des Swinemünder Hafens konnte, was sehr selten der Fall ist, die Richtung der Hafendämme ganz beliebig gewählt werden, und dieser ursprüngliche Plan kam auch vollständig zur Ausführung. Der Erbauer desselben, der Geheime Oberbaurath Günther, hatte, bevor er sich für die gewählte Krümmung der Hafendämme entschied, über die Wirksamkeit derselben an einem Binnensee einen Versuch gemacht. Der Plauensche Canal, der die schiffbare Verbindung zwischen der Elbe oberhalb Tangermünde und der Havel darstellt, verlandete stets sehr stark bei seinem Eintritt in den Plauenschen See. Die Ausströmung aus dem Canale ist nicht bedeutend, und beschränkt sich meist auf die Wassermasse, die beim Durchschleusen der Schiffe abfließt, nur nach anhaltendem und starkem Regen oder im Frühjahr, wenn der Wasserstand im Canale sich zu sehr erhebt, findet eine anhaltende Entlastung statt. Auf eine starke Strömung war also keineswegs zu rechnen. Diese Mündung in den See wurde nun versuchsweise mit einer Krümmung versehen, indem ein Packwerk zur Begrenzung des Stromes auf die concave Seite gelegt wurde. Der Erfolg war durchaus zufriedenstellend, denn neben diesem künstlichen Ufer entstand und erhielt sich ein hinreichend tiefes Fahrwasser, welches die Schiffe bequem durchfahren konnten.

Auf diese Erfahrung gestützt, wurde das Project zur Verbesserung des Swinemünder Hafens entworfen und ausgeführt, und es dürfte wenige Hafen-Anlagen geben, welche ähnliche Erfolge wie diese gehabt haben. Die Tiefe betrug beim Beginne des Baues beim mittleren Wasserstande nur 7 bis $7\frac{1}{2}$ Fufs, *) sie hat sich aber bis auf mehr als 20 Fufs vergrößert, und auch gegenwärtig, also 40 Jahre nach Beendigung, des Baues können bei ruhiger Witterung Schiffe mit 20 bis 21 Fufs Tiefgang einkommen. Seit jener Zeit ist aber weder die Verlängerung der Hafendämme, noch auch sonst irgend eine andre Anlage oder selbst die Benutzung des Baggers zur Erhaltung der Tiefe in oder vor der Mündung nöthig gewesen. Diesen großen Erfolg, der sich bald nach Erbauung der Molen einstellte, schreibt Günther vorzugsweise dem Umstande zu, daß ohne

*) Geschichte der Verbesserung des Fahrwassers an der Mündung der Swine, von Günther. Bauausführungen des Preussischen Staates. I. Band. Berlin 1830. Seite 81 ff.

Unterbrechung der ganze Bau in der kürzesten Zeit zur Ausführung gebracht wurde. Er ist der Ansicht, daß wenn man hier, wie sonst zu geschehn pflegt, nach langen Zwischenzeiten einzelne Theile der Molen erbaut hätte, daß alsdann der westliche Strand jedesmal in gleicher Weise vorgetreten, und die jetzt bestehende Bucht, welche der Küstenstrom unbedingt auch noch verfolgt, verschwunden sein würde, daß aber in diesem Falle die Mündung eben so, wie die der andern Häfen gleichfalls sich verflacht hätte.

Wie zufriedenstellend dieses Resultat auch ist, und wie sehr es dem Bedürfnisse entspricht, so erregt doch die Bank in der Verlängerung der westlichen Mole erhebliches Bedenken, insofern dieselbe noch von Jahr zu Jahr weiter vorrückt. Die Zweifaden-Linie ist seit den letzten zwanzig Jahren durchschnittlich in jedem Jahre 7 Ruthen weiter in die See hinausgetreten, und diese Bewegung hat auch in der letzten Zeit keineswegs aufgehört. Ihr äußerer Scheitel liegt jetzt gegen 200 Ruthen jenseits des am weitesten vortretenden, nämlich des östlichen Molenkopfes. Der neben dem letzteren ausmündende starke Strom begrenzt sie auf der östlichen Seite. Die Dreifaden-Linie läßt sich nicht in gleicher Weise verfolgen, weil dieselbe eine lange Reihe von Jahren hindurch nicht gemessen wurde, indem sie sich zu weit von dem Ufer entfernt hatte. Die in neuerer Zeit ausgeführten vollständigeren Messungen ergeben indessen, daß sie in gleicher Weise immer weiter herausrückt.

Fragt man nach dem endlichen Erfolge dieser Sandablagerung, die sich stets weiter ausdehnt, so hat der Erbauer des Hafens allerdings schon eine Antwort darauf gegeben, indem er (Seite 111) die spätere Verlängerung der Molen andeutet. Er sagt aber:

„Man wird dann nicht immer die jetzige Richtung der Werke beibehalten, sondern in einiger Entfernung eine neue Serpentine, deren concaver Theil am westlichen Damme liegt, und deren Mündung mehr nach Nordnordost ausgeht, bilden müssen.“

Unzweifelhaft wird man, wenn das Bedürfnis zur Verlängerung eintritt, die gegenwärtige Krümmung nicht weiter fortsetzen können, weil sonst die Mündung gar nicht mehr nach der See, sondern auf das Ufer gerichtet wäre, aber die erwähnte Aenderung der Krümmung bietet unüberwindliche Schwierigkeiten. Hat man bereits die Hafendämme einige hundert Ruthen weit über diesen Uebergangspunkt hinaus verlängert, alsdann kann man in dem letzteren

Man sollte man die Hafenmündung krümmen
 die Krümmung so zu legen, daß der austre-
 mende Strom nicht entgegengesetzt ist, sondern
 demselben anschließt. In diesem Falle würde
 der Damm, der die concave Seite des Hafens bil-
 det, vortreten und zugleich den letzteren vor dem hin-
 eintretenden Material schützen. Sollte aber auf der Binnenseite die-
 sich dennoch eine Ablagerung bilden, so würde der
 Strom, der sich hier concentrirt, diese leicht beseitigen.
 Der Grund, den er dafür anführt, daß nämlich bei dieser
 Anordnung der Hafen auch gegen das Eintreten der stärksten Wellen
 gesichert werde, ist zwar für die Häfen am Canale, aber nicht
 für diejenigen an dem südlichen Ufer der Ostsee zutreffend.

Wenn man indessen auch von dem letzten Grunde absieht, der
 in der Regel wohl der entscheidende sein dürfte, so möchte sich
 dennoch fragen, ob die Ablagerungen vor der Mündung, welche das
 Fahrwasser nach der offenen See bedrohen, sich nicht ungünstiger
 gestalten, wenn die Mündung in die Richtung des Küstenstromes,
 als wenn sie gegen diese gewendet ist. Vor dem Damm, der von
 dem letzteren getroffen wird, sind Ablagerungen ähnlich denjenigen
 zu erwarten, welche vor die westliche Mole von Swinemünde vor-
 treten, und man sollte meinen, daß diese sich viel vollständiger
 ausbilden können, wenn sie in die Richtung des Küstenstromes
 treffen, also von demselben weniger angegriffen werden.

Es kommt hierbei wieder die Aehnlichkeit zwischen einem
 Hafendamm und einer Buhne in Betracht, und insofern die letz-
 tere gewöhnlich eine stärkere Verlandung veranlaßt, wenn sie in-
 clinant, als wenn sie declinant ist, so möchte die Ansicht von Mi-
 nard hierin eine neue Bestätigung finden.

In dieser Weise sprach sich auch Rendel aus, als er bei Ge-
 legenheit der bereits erwähnten commissarischen Untersuchung über
 den bei Dover anzulegenden Sicherheitshafen aufgefordert wurde,
 sich über die zu erwartenden Verlandungen zu äußern. Er ant-
 wortete nämlich auf die Frage (No. 329), wie es sich mit der Ver-
 flachung im Hafen bei Ramsgate verhalte:

„Ich kann mir keinen vollkommeneren Schlammfang denken,
 als den Ramsgater Hafen, denn dort haben sie jetzt an den Kopf

des einen Dammes einen Flügel angebaut, um jedes Sandkörnchen aufzufangen, was dieser, indem er weit in den Strom hineintritt, irgend erreichen kann."

Durch den erwähnten Flügel wird die Hafenmündung dem Strome entgegengekehrt, und sonach würde derselbe Vorwurf alle Häfen treffen, deren Mündungen dieselbe Richtung haben. Nichts desto weniger sind die Verhältnisse vor einem Hafen doch wesentlich verschieden von denen vor einer geschlossenen Küste, denn wenn die See steigt, so wird der Sand eben sowol hinter einem declinanten, wie hinter einem inclinanten Damme zugleich mit dem Wasser in den Hafen hineintreiben, und selbst die Vorstellung, daß ein vortretendes Werk, vor dem das Wasser vorbeiströmt, allen Sand auffangen soll, der neben dem Ufer treibt, entspricht wenig der wirklichen Erscheinung.

Die bei Swinemünde erfolgten Sandablagerungen bestätigen keineswegs Rendel's Ansicht. Die östliche Mole tritt in viel größerer Ausdehnung dem Küstenstrome entgegen, als jener Flügel vor dem Ramsgater Hafen, aber sie fängt keineswegs allen ihr entgegentreibenden Sand auf, vielmehr hat derselbe ihr gegenüber eine Bank gebildet, die sogar weit über sie hinausreicht. Die Wirkung der ausgehenden Strömung stellt sich also ganz überwiegend heraus, und sobald letztere so kräftig und so lange anhaltend, wie bei Swinemünde erfolgt, so darf man die Hafendämme nicht mehr nach den Erfolgen der Buhnen beurtheilen.

Minard macht noch auf einen Umstand aufmerksam, der die Unhaltbarkeit dieses Vergleiches in andrer Beziehung darthut. Vor dem Kopfe einer Buhne, die in einen oberländischen Strom hineintritt, bildet sich nämlich eine große Tiefe, aber nie geschieht dieses vor dem Kopfe eines Hafendammes. Die letzte Angabe ist zwar in den meisten Fällen, aber doch nicht jedesmal richtig. Sie widerlegt sich schon durch die größeren Tiefen, die man vor dem westlichen Hafendamme bei Swinemünde bemerkt. Auch bei Stolpmünde bildete sich im Jahre 1857, als die Mündung sich beinahe ganz mit Kies angefüllt hatte, eine schmale Rinne von mehr als 18 Fuß Tiefe, die vor den Hafenköpfen parallel zum Strande sich hinzog. In diesem Falle war aber die Ausströmung lange Zeit hindurch, wenn auch nicht ganz unterbrochen, doch übermäßig geschwächt gewesen, und dadurch die Verhältnisse denen einer vortretenden

ie ähnlich geworden. Selbst jene Vertiefung bei Swinemünde
sich dadurch erklären, daß zur Seite des westlichen Kopfes
ausgehende Strom immer nur sehr schwach ist. Im Allgemei-
darf man aber bei Buhnen oder Einbauen am Ufer des Mee-
nicht so starke Vertiefungen, wie vor Stromufern erwarten, weil
bedeutendste Veranlassung zu solchen, nämlich die Beschrän-
; des Profiles hier meist gar nicht in Betracht kommen kann.
wenn ausgedehnte Sandbänke davor liegen, welche eine Spal-
des Küstenstromes bewirken, kann eine solche Beschränkung
em nächstliegenden Arme eintreten, und dieses ist wohl der
ge Fall, in welchem vor dem Kopfe des Hafendamms Vertie-
entsteht.



Ende des zweiten Bandes.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47





THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
REFERENCE DEPARTMENT

**This book is under no circumstances to be
taken from the Building**

[illegible]



